



Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

**“SIMULACIÓN VIRTUAL DE UNA
SUSPENSIÓN LONGITUDINAL EN
ENTORNO VRML”**

Autor:

D. Javier Fernández Valverde

Tutoras:

Dra. Dña. Beatriz López Boada

Dra. Dña. María Jesús López Boada

Junio 2011

AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras, Beatriz López Boada y M^a Jesús López Boada, por todo su tiempo y dedicación en la elaboración de este proyecto.

A mis amigos de la universidad, Kevin, Tito, David, Diego y especialmente a Daniel, que me ha prestado gran ayuda en la realización del proyecto, por todo el tiempo compartido y todo lo aprendido a lo largo de la carrera. Sin vosotros esto no hubiera sido lo mismo.

A mi familia, por la confianza que han tenido en mi, sobretodo mi tía Esther, por su paciencia, por tenerla tan cerca, por portarse tan bien conmigo.

A Sandra, tu apoyo en los momentos más duros, por sacarme una sonrisa cuando más lo necesito, por hacerme el más feliz del mundo, por estar a mi lado, sabes que yo siempre estaré al tuyo.

A mis padres, podría escribir muchísimas líneas, pero jamás sería capaz de agradecerlos todo vuestra confianza, consejos, ánimo y paciencia conmigo y por llevarme por el camino correcto. Sé que siempre estáis y estaréis ahí. He tenido mucha suerte de teneros como padres.

A todos vosotros de corazón,

Gracias.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETO DEL PROYECTO	3
1.2 CONTENIDO DEL PROYECTO	4
CAPÍTULO 2 EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	5
2.1 CONCEPTO Y NECESIDAD DE LA SUSPENSIÓN	6
2.2 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN	8
2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	11
2.3.1 ELEMENTOS ELÁSTICOS.....	11
2.3.1.1 Elementos neumáticos	11
2.3.1.2 Ballestas	13
2.3.1.3 Muelles helicoidales	14
2.3.1.4 Barras de torsión	14
2.3.1.5 Barras estabilizadoras	15
2.3.2 AMORTIGUADOR.....	16
2.3.2.1 En función del sentido de trabajo	16
2.3.2.2 En función del número de tubos	17
2.3.2.3 En función del fluido de amortiguación	18
2.3.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA SUSPENSIÓN.....	19
2.3.3.1 Trapecios.....	19
2.3.3.2 Brazos	20
2.3.3.3 Triángulos.....	21
2.3.3.4 Tirantes.....	22
2.3.3.5 Manguetas.....	22
2.3.3.6 Rótulas, articulaciones y silentblocks	23
2.4 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE SUSPENSIÓN	24
2.4.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN GEOMETRÍA	24
2.4.1.1 Suspensiones rígidas	24

2.4.1.2 Suspensiones semirrígidas.....	25
2.4.1.3 Suspensiones independientes.....	27
2.4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SISTEMA DE CONTROL.....	30
2.4.2.1 Suspensión pasiva	30
2.4.2.2 Suspensión activa	31
2.4.2.3 Suspensión semiactiva	33
2.5 LA SUSPENSIÓN LONGITUDINAL	34
2.5.1 RUEDA TIRADA CON UN BRAZO.....	34
2.5.2 RUEDA TIRADA CON OTROS ELEMENTOS DE UNIÓN	37
CAPÍTULO 3 MODELADO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	38
3.1 INTRODUCCIÓN AL CAD.....	39
3.2 SOLID EDGE	42
3.2.2 FUNCIONAMIENTO DE SOLID EDGE	43
3.2.3 ENTORNOS SOLID EDGE	48
3.2.3.1 Pieza (.par)	48
3.2.3.2 Conjunto (.asm)	49
3.2.3.3 Plano (.dft)	49
3.2.3.4 Chapa (.psm).....	50
3.2.3.5 Soldadura	50
3.3 DISEÑO DE LAS PIEZAS DE LA SUSPENSIÓN.....	51
3.3.1 CREACIÓN DE UNA PIEZA	51
3.3.2 PIEZAS DE LA SUSPENSIÓN.....	55
CAPÍTULO 4 LA REALIDAD VIRTUAL.....	66
4.1 INTRODUCCIÓN A LA REALIDAD VIRTUAL.....	67
4.2 TIPOS DE REALIDAD VIRTUAL	68
4.2.1 REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA	68
4.2.2 REALIDAD VIRTUAL SEMI-INMERSIVA	69
4.2.3 REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA.....	69
4.3 DISPOSITIVOS Y EQUIPOS.....	70

4.3.1 VISIÓN.....	70
4.3.2 AUDICIÓN	71
4.3.3 EQUIPOS DE INTERACCIÓN.....	72
4.4 APLICACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL.....	73
4.4.1 REALIDAD VIRTUAL EN LA MEDICINA	73
4.4.2 REALIDAD VIRTUAL EN LA PSICOLOGÍA.....	74
4.4.3 REALIDAD VIRTUAL EN LA FÍSICA	75
4.4.3 REALIDAD VIRTUAL EN CIENCIAS DE LA TIERRA.....	75
4.4.4 REALIDAD VIRTUAL EN DEFENSA.....	76
4.4.5 REALIDAD VIRTUAL EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN	77
4.4.6 REALIDAD VIRTUAL EN EL ARTE.....	77
4.4.7 REALIDAD VIRTUAL EN LA ARQUITECTURA.....	78
4.4.8 REALIDAD VIRTUAL EN LA INGENIERÍA	79
4.4.8.1 Ensamblado.....	79
4.4.8.2 Manipulación remota de robots	80
4.4.8.3 Prototipos virtuales	81
4.5 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA.....	81
4.6 REALIDAD VIRTUAL EN LA ENSEÑANZA	85
4.7 FUTURO DE LA REALIDAD VIRTUAL	88
CAPÍTULO 5 DISEÑO VIRTUAL DE LA SUSPENSIÓN	90
5.1 VRML.....	91
5.2 UTILIZACIÓN DE VRML	94
5.2.1 HERRAMIENTAS NECESARIAS EN VRML	94
5.2.2 PROGRAMACIÓN EN VRML.....	94
5.2.2.1 Agrupación de nodos.....	96
5.2.2.2 Appearance y Material.....	98
5.2.2.3 Fondos y suelos	98
5.2.2.4 Iluminación	99
5.2.2.5 Inline	101

5.2.2.6 Sensor de tiempo	101
5.2.2.7 Sensor de tacto	102
5.2.2.8 Interpolador	102
5.2.2.9 Puntos de vista	103
5.2.2.10 DEF y ROUTE	104
5.3 CREACIÓN DEL MUNDO VIRTUAL	104
5.3.1 INTRODUCCIÓN DE PIEZAS	104
5.3.2 MOVIMIENTO DE LA SUSPENSIÓN.....	111
5.3.3 INTRODUCCIÓN DE TEXTOS IDENTIFICATIVOS.....	115
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	117
6.1 CONCLUSIONES	118
6.2 TRABAJOS FUTUROS	119
CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Suspensión longitudinal	3
Figura 2.1. Sistema de Suspensión.....	6
Figura 2.2. Suspensión Opel Corsa	8
Figura 2.3. Carruaje motorizado Daimler (1886)	9
Figura 2.4. Capas de un neumático	12
Figura 2.5. Cilindros neumáticos	12
Figura 2.6. Ballesta instalada en un Hummer.....	13
Figura 2.7: Barra estabilizadora	15
Figura 2.8. Amortiguador de un Jaguar XF	16
Figura 2.9. Esquema amortiguador monotubo y bitubo.....	17
Figura 2.10. Amortiguador hidráulico	18
Figura 2.11: Trapecio	20
Figura 2.12. Brazo rígido curvo	20
Figura 2.13. Triángulo en A	21
Figura 2.14. Mangueta	22
Figura 2.15: <i>Silentblock</i> y rótula	23
Figura 2.16. Suspensión rígida.....	24
Figura 2.17. Suspensión semirrígida con barra torsional	26
Figura 2.18. Suspensión semirrígida con “eje de Dion”	26
Figura 2.19. Suspensión McPherson	28
Figura 2.20. Suspensión multibrazo de un Audi A6.....	29
Figura 2.21. Suspensión de paralelogramo deformable	30
Figura 2.22. Esquema de una suspensión pasiva	31
Figura 2.23. Esquema de una suspensión activa.....	32
Figura 2.24. Esquema de suspensión semiactiva	33
Figura 2.25. Suspensión longitudinal clásica.....	35
Figura 2.26. Suspensión longitudinal de brazos unidos por barra torsional	36
Figura 2.27. Rueda tirada con otros elementos de unión	37
Figura 3.1. Ventana de inicio de Solid Edge.....	44
Figura 3.2. Entorno 3D	45
Figura 3.3. Barra de herramientas.....	45
Figura 3.4. Edgebar.....	45
Figura 3.5. Menú cinta.....	45
Figura 3.6. Barra estado.....	46
Figura 3.7. Barra Operaciones	46
Figura 3.8. Herramientas Solid Edge	48
Figura 3.9. Entorno pieza	48
Figura 3.10. Entorno conjunto	49
Figura 3.11. Entorno plano	50
Figura 3.12. Entorno chapa	50
Figura 3.13. Entorno Soldadura	51

Figura 3.14. Pieza unión con bastidor	51
Figura 3.15. Creación pieza unión con bastidor I	52
Figura 3.16. Creación pieza unión con bastidor II.	52
Figura 3.17. Creación pieza unión con bastidor III.	53
Figura 3.18. Creación pieza unión con bastidor IV.	53
Figura 3.19. Creación pieza unión con bastidor V.	54
Figura 3.20. Creación pieza unión con bastidor VI.	54
Figura 3.21. Creación pieza unión con bastidor VII	55
Figura 3.22. Neumático	55
Figura 3.23. Llanta	56
Figura 3.24. Resorte.....	56
Figura 3.25. Freno tambor I.....	56
Figura 3.26. Freno tambor II.....	57
Figura 3.27. Tapa resorte	57
Figura 3.28. Eje torsional.....	57
Figura 3.29. Tubo interior amortiguador	58
Figura 3.30. Émbolo	58
Figura 3.31. Varilla	58
Figura 3.32. Tubo exterior amortiguador	59
Figura 3.33. <i>Silentblock</i>	59
Figura 3.34. Parte superior amortiguador.....	59
Figura 3.35. Tornillo 1	60
Figura 3.36. Tornillo 2	60
Figura 3.37. Tornillo 3	60
Figura 3.38. Tornillo 4	60
Figura 3.39. Tornillo 5	60
Figura 3.40. Tornillo 6	60
Figura 3.41. Tuerca 1	60
Figura 3.42. Tuerca 2	60
Figura 3.43. Conjunto neumático	61
Figura 3.44. Conjunto amortiguador.....	61
Figura 3.45. Modelo suspensión longitudinal	62
Figura 3.46. Suspensión longitudinal en Solid Edge	62
Figura 3.47. Conjunto completo. Vista isométrica	63
Figura 3.48. Conjunto completo. Vista frontal.....	63
Figura 3.49. Conjunto completo. Vista posterior.....	64
Figura 3.50. Secciones de amortiguador y neumático	64
Figura 3.51. Suspensión longitudinal renderizada.....	65
Figura 4.1. Realidad virtual inmersiva	68
Figura 4.2. Realidad virtual no inmersiva	70
Figura 4.3. Casco estereoscópico	71
Figura 4.4. Audífono.....	72
Figura 4.5. Guante virtual	73
Figura 4.6. Simulación virtual de una cirugía.....	74

Figura 4.7. Simulación de erupción volcánica	76
Figura 4.8. Simulador de vuelo.....	77
Figura 4.9. Museo virtual.....	78
Figura 4.10. Edificios virtuales.....	79
Figura 4.11. Diseño virtual de un prototipo.....	81
Figura 4.12. Sistema Holodek	88
Figura 4.13. Realidad Virtual en un museo	89
Figura 5.1. Reconstrucción de una villa romana creada en VRML.....	92
Figura 5.2. Colores RGB	98
Figura 5.3. Barra torsional I	107
Figura 5.4. Barra torsional II	108
Figura 5.5. Neumático y freno de tambor	108
Figura 5.6. Resorte y tapa	108
Figura 5.7. Carretera con badén completo y con medio badén.....	109
Figura 5.8. Parte inferior del amortiguador	109
Figura 5.9. Parte superior del amortiguador	109
Figura 5.10. Conjunto total en badén completo.....	110
Figura 5.11. Conjunto total en medio badén.....	110
Figura 5.12. Secuencia de imágenes con badén completo	113
Figura 5.13. Secuencia de imágenes con medio badén.....	114
Figura 5.14. Texto en mundo virtual.....	116

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Desde los carruajes utilizados en el siglo XIX hasta los más novedosos automóviles, los fabricantes han tratado siempre de hacer vehículos más cómodos y seguros. Uno de los sistemas más eficaces que consigue ambas cosas es el sistema de suspensión. La evolución de los sistemas de suspensión ha sido significativa a lo largo de los años, puesto que provoca una importante mejora en el comportamiento del vehículo.

Las funciones del sistema de suspensión son mejorar el confort de los ocupantes así como la seguridad y el control del vehículo, manteniendo las ruedas en contacto con la calzada y absorbiendo las irregularidades provocadas por la misma, de manera que no sean transmitidas al bastidor.

El desarrollo en el diseño de suspensiones también ha evolucionado, ya que actualmente existen programas de diseño, simulación y modelado potentes que facilitan su desarrollo, obteniendo así más rápidos y mejores resultados. En este proyecto, el diseño del sistema de suspensión se ha realizado mediante el programa Solid Edge y se ha simulado su comportamiento mediante la Realidad Virtual.

La Realidad Virtual es de gran utilidad en la enseñanza, debido a su facilidad para captar la atención de los estudiantes mediante la inmersión del alumno en mundos virtuales relacionados con cualquier rama del saber, lo que puede ayudar en el aprendizaje de cualquier materia.

Debido a estos motivos se ha desarrollado este proyecto final de carrera, que pretende, mediante el diseño de la suspensión en Solid Edge y posterior simulación en entorno VRML conseguir que el aprendizaje y comprensión de los componentes y funcionamiento de la suspensión longitudinal sean más sencillos y amenos para el alumno.

1.1 OBJETO DEL PROYECTO

La finalidad del presente proyecto es el estudio del movimiento que realiza una suspensión mediante el uso de técnicas virtuales. Concretamente se va a estudiar la suspensión semi-independiente tipo longitudinal o de “rueda tirada” (Figura 1.1).

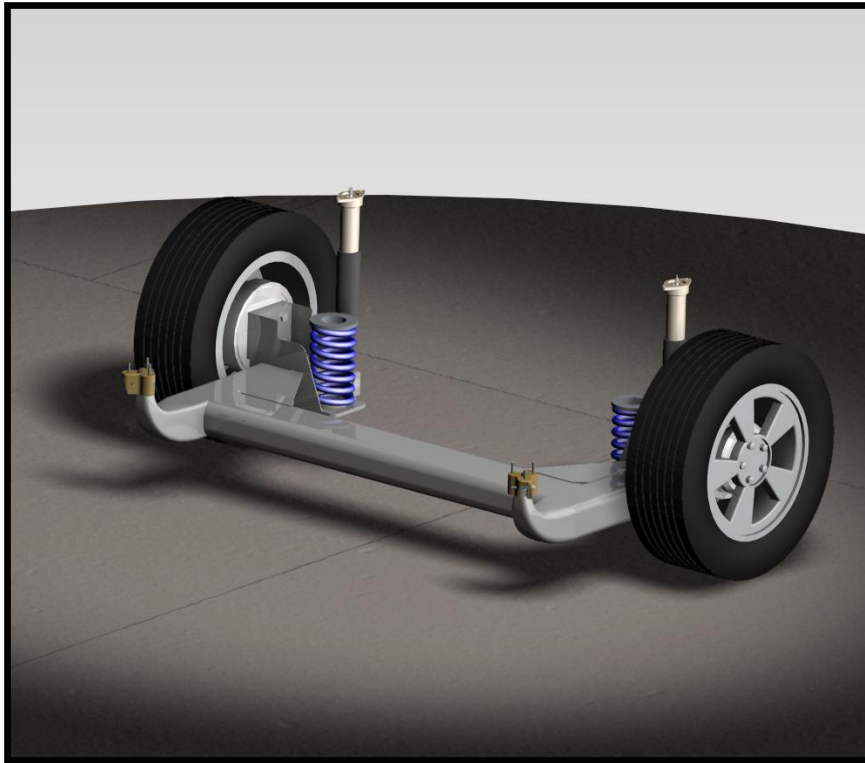


Figura 1.1. Suspensión longitudinal

De esta forma, se pretende facilitar la comprensión por parte del alumno del comportamiento que ofrecen los elementos de seguridad pasiva. De la misma manera, se pretende motivar y atraer la atención de los estudiantes a través de las imágenes de gran calidad y del alto grado de interactividad ofrecida por los sistemas virtuales. Cada vez es mayor el número de centros de enseñanza en los que se utilizan aplicaciones de este tipo.

Con este fin, se ha recurrido a la utilización del programa de diseño Solid Edge, mediante el cual se han diseñado las distintas piezas que componen la suspensión ya que este programa ofrece grandes posibilidades en el diseño, además de permitir la posterior obtención de imágenes para su simulación en el entorno VRML.

1.2 CONTENIDO DEL PROYECTO

En este apartado se realiza una descripción breve del contenido de los capítulos que componen este proyecto, explicando así la organización del mismo.

El presente proyecto consta de seis capítulos, siendo en este primero en el que se hace una introducción y se marcan los objetivos del mismo.

En el segundo capítulo se explica en qué consiste un sistema de suspensión, las partes que lo componen, los distintos tipos, su funcionamiento y se explica más detalladamente la suspensión longitudinal.

En el tercer capítulo se explica de una manera general los principales sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD) para posteriormente hacerlo más detalladamente con Solid Edge. Por último dentro de este capítulo se muestran las piezas creadas que componen la suspensión objeto del proyecto.

En el cuarto capítulo se hace una descripción detallada de la Realidad Virtual y se ofrece una visión sobre la introducción de las nuevas tecnologías en el ámbito de la enseñanza.

En el quinto capítulo se realiza una explicación sobre el funcionamiento del lenguaje VRML además de presentar la metodología y la programación del mismo para la creación de los mundos virtuales.

En el sexto capítulo se indican algunas conclusiones que se han obtenido durante la realización de este proyecto y se presentan posibles ampliaciones al mismo.

CAPÍTULO 2

EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

2.1 CONCEPTO Y NECESIDAD DE LA SUSPENSIÓN

La suspensión de un automóvil tiene como objetivo el absorber las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, a la vez que mantiene las ruedas en contacto con el pavimento, proporcionando a los pasajeros un adecuado confort y seguridad en marcha y protegiendo la carga y las piezas del automóvil. Otra de las funciones que tiene la suspensión es evitar un movimiento excesivo de la carrocería durante los virajes y/o frenado [1][2][3].

Se puede definir suspensión aplicándolo al automóvil, como la situación en que se encuentran uno o más cuerpos (componentes del vehículo) respecto de otro principal, que es el propio vehículo en sí.

Según esta definición, se puede afirmar que la carrocería va suspendida de las ruedas y sus elementos anexos, es decir, que no están unidos de forma rígida, sino que permiten movimientos relativos entre ellos. De esta manera, si una rueda en conjunto con sus elementos anexos y el resto de vehículo (carrocería) se alejan entre sí, se dice que la suspensión está trabajando a extensión. Por el contrario, cuando la rueda y la carrocería se acercan entre sí, es porque la suspensión está trabajando a compresión.

Como se puede observar en la figura 2.1 se muestra de forma esquemática las distintas partes de un sistema de suspensión.

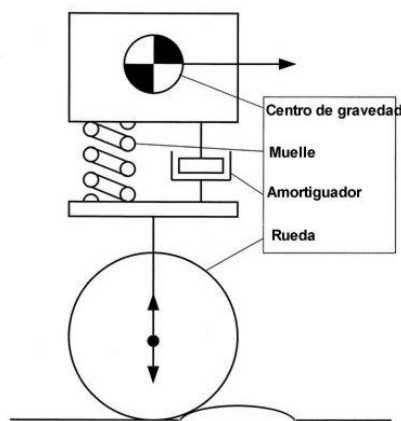


Figura 2.1. Sistema de Suspensión

Cuando un vehículo circula por un terreno irregular, las ruedas están sometidas a una serie de impactos que son transmitidos a la carrocería a través de los elementos de unión. Si el terreno es llano, las pequeñas irregularidades del mismo son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos, pero si las irregularidades existentes son grandes la unión elástica del sistema de suspensión debe ser capaz de absorber dichas irregularidades evitando que se transmitan a la carrocería.

El diseño de un sistema de suspensión se efectúa teniendo en cuenta dos importantes factores, como son el confort de los pasajeros y un óptimo control del vehículo. Para un vehículo de uso todoterreno, se tenderá hacia una suspensión más blanda. Si por el contrario, como puede ser en el caso de un vehículo de competición, lo que interesa es atenuar o incluso impedir movimientos relativos de la carrocería con relación al suelo, para que el vehículo se mantenga durante la marcha en la posición más horizontal posible, entonces se tenderá hacia una suspensión rígida o dura.

El sistema de suspensión se puede descomponer en dos partes, en función de si está encima o debajo. De esta manera se estaría hablando de dos masas, la masa suspendida y la masa no suspendida. A continuación se hace una descripción más detallada de cada una de ellas:

Masa suspendida

La masa suspendida engloba a todos los elementos cuyo peso es el soportado por el chasis o bastidor. Generalmente se incluye el cuerpo del vehículo, pasajeros, carga y a los componentes internos. El chasis es el elemento del vehículo que actúa como armazón sobre el que se montan los distintos elementos, como son el motor, transmisión y carrocería.

Masa no suspendida

La masa no suspendida comprende a aquellos elementos (incluyendo a la suspensión) situadas por debajo de la masa suspendida. Estos elementos oscilan con las ruedas en los movimientos de aproximación y alejamiento entre éstas y la carrocería. Se considera como tales a las ruedas, las manguetas, los bujes, los elementos de suspensión, frenos, brazos, etc. (Figura 2.2).

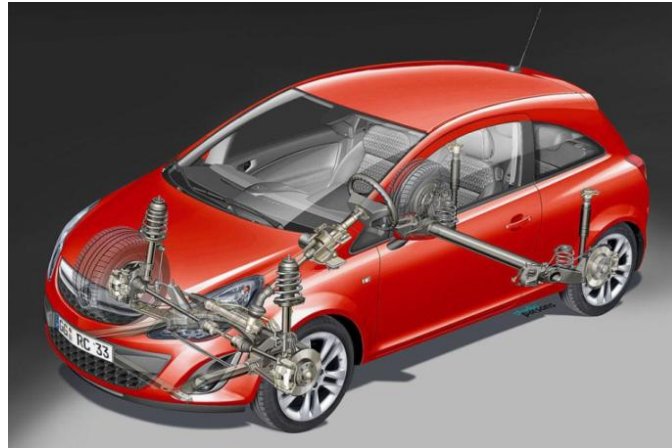


Figura 2.2. Suspensión Opel Corsa

2.2 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

En el inicio de la industria de la automoción, los vehículos que se fabricaban carecían de suspensión, pues se consideraba que no era un elemento esencial de los mismos [4][5].

Los sistemas de suspensión de los vehículos tirados por caballos, utilizaban un eje rígido para las ruedas delanteras y traseras; cuando una rueda pasaba por una imperfección del camino como un bache, el eje se movía hacia arriba y hacia abajo, ocasionando que el chasis se fuera de lado, lo que podría causar que el vehículo volcara, además de que el viaje se volviera incomodo.

Para intentar reducir esas vibraciones, se probaron distintas soluciones, como acolchar los asientos, pero no resultaron suficientes. Una solución más eficaz fue colgar la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal más o menos acerado que venían de los ejes de modo que el “habitáculo” quedaba suspendido por cuatro correas. El inconveniente de este sistema fue que provocaba mareos de los ocupantes.

Los primeros constructores transfirieron la técnica de la suspensión de los carruajes a los coches (Figura 2.3). Estas técnicas preveían dos ejes rígidos unidos a la caja del vehículo mediante ballestas longitudinales o transversales. Las ruedas estaban forradas con hierro y faltaban los amortiguadores

verdaderos. No obstante, el rozamiento de las hojas de las ballestas entre sí facilitaba un cierto amortiguamiento.

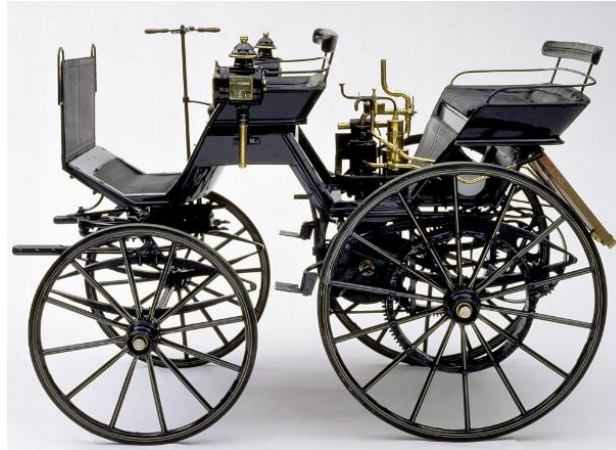


Figura 2.3. Carruaje motorizado Daimler (1886)

En la medida en que las suspensiones evolucionaron y fueron haciéndose más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se entiende porque las ruedas de gran diámetro reducían el efecto de las irregularidades del camino; las ruedas pequeñas registraban más dicho efecto debido a que entraban en los hoyos en mayor proporción. Con el desarrollo del motor de combustión interna aplicado a los vehículos, las ruedas también evolucionaron, de la rueda de rayos (radios) pasaron al de metal estampado y al de aleación ligera; de la llanta de hierro a la de hule macizo, después al neumático de cuerdas o tiras diagonales y finalmente al radial.

La evolución histórica de los aproximadamente cien años de evolución en los sistemas de suspensión puede dividirse en tres fases, las cuales se presentan a continuación:

- En la primera fase, entre los años 1885 y 1920, se da el paso del diseño de los carruajes hacia técnicas más adecuadas, por principios de construcción y por prestaciones, a un vehículo de motor.
- La segunda fase se podría ubicar entre los años 1920 y 1955, y en ella comienza con la búsqueda de soluciones con prestaciones crecientes y

una estabilidad que hacía poco que se había convertido en una fundamental exigencia. En este período fue cuando se produjo la progresiva diferenciación de los esquemas de las suspensiones en función del tipo de coche (posición del motor, tipo de propulsión, condiciones de carga, etc.). En el sector de los coches de prestigio y de competición se produjo el desarrollo de esquemas nuevos, más complejos, en búsqueda del confort y las prestaciones más sofisticadas.

- La última fase comprende desde el año 1955 hasta los años setenta: donde ya se adoptan soluciones formuladas teóricamente y consideradas de nuevo con esquemas de construcción adecuadas a las grandes series (menor coste, mayor fiabilidad, menor mantenimiento); con los mismos objetivos se actuó en la búsqueda de soluciones nuevas. También se propusieron algunos esquemas antiguos originales, como el de subrayar que un cierto esquema de suspensión difícilmente tiene de por sí unas dotes de estabilidad y de confort superiores a cualquier otro tipo, en el sentido de que el diseño de aplicación de cada esquema y otros numerosos factores (asentamiento, elasticidad, amortiguadores y, sobre todo, la geometría) pueden modificar completamente el comportamiento.

Actualmente se tiende, como en todos los ámbitos del automovilismo, a que estos dispositivos sean controlados electrónicamente. En este sentido los amortiguadores no suponen una excepción. Así, la evolución de los sistemas de suspensión parece que va en la línea de los llamados sistemas “inteligentes”.

2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión de un vehículo automóvil está compuesto por un elemento flexible (ballesta, muelle helicoidal, barra de torsión, estabilizador, etc.) para absorber la energía provocada por los impactos y un elemento de amortiguación, cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originada por el elemento flexible al adaptarse a las irregularidades del terreno.

2.3.1 ELEMENTOS ELÁSTICOS

Los elementos elásticos son aquellos que tienen como función es permitir el movimiento relativo entre la rueda y la carrocería, al tiempo que evita que ésta se quede permanentemente en la posición de máxima compresión, por efecto del peso del vehículo. De esta manera consiguen una mejora del confort y la seguridad del vehículo al asegurar el contacto de las ruedas con el terreno [2][3][5].

2.3.1.1 Elementos neumáticos

La función de los neumáticos es garantizar el mejor contacto posible entre el automóvil y la superficie de la calzada. Los neumáticos aportan tracción a las ruedas tractoras, permiten que el automóvil resista las fuerzas generadas en las curvas, cuando se frena y por supuesto han de ofrecer tracción cuando se conduce en línea recta. También deben contribuir a reducir el ruido y aumentar la comodidad.

El cuerpo de un neumático está formado por una capa de goma sobre una trama de cordones que van de un lado al otro del neumático. Los cordones pueden ser de fibra sintética o de acero. El borde del neumático contiene un cordón especial denominado “talón” y refuerzos que impiden que el neumático se salga de la llanta o patine. La superficie interior del neumático no deja pasar el aire. La superficie exterior que tiene contacto con la calzada se denomina banda de rodadura. Por debajo de la banda de rodadura hay varias capas de cordones, denominadas cinturones (Ver figura 2.4).



Figura 2.4. Capas de un neumático

Otros componentes neumáticos son los cilindros neumáticos o “bolsas de aire”, muy utilizados en vehículos industriales. Se utilizan como elementos flexibles ya que cada vez son más resistentes los cauchos y las fibras de refuerzo. Estas bolsas de aire proporcionan una suspensión muy suave y suficientemente duradera (Figura 2.5).



Figura 2.5. Cilindros neumáticos

2.3.1.2 Ballestas

Están constituidas por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante unas abrazaderas, que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan (Figura 2.6). La hoja superior, llamada hoja maestra, va curvada en sus extremos, formando unos ojos en los que se montan unos casquillos para su acoplamiento al soporte del bastidor, por medio de pernos o bulones. El número de hojas y su espesor están en función de la carga que han de soportar. Todas las hojas se unen en el centro mediante un tornillo pasante con tuerca, llamado “capuchino”.

La ballesta que presenta cierta curvatura, tiende a ponerse recta al subir la rueda con las irregularidades del terreno, aumentando así su longitud. Por este motivo su unión al chasis deberá disponer de un sistema que permita el alargamiento. Este dispositivo se coloca generalmente en la parte trasera de la ballesta y consiste en la adopción de una gemela que se une al chasis por medio de un tornillo pasante. Además en el ojo de la ballesta se coloca un casquillo elástico, llamados *silentblock*, formado por dos manguitos de acero unidos entre sí por un casquillo de caucho, que se interpone a presión entre ambos, así el *silentblock* actúa como articulación para movimientos pequeños, sin que se produzca ruido ni requiera engrase.



Figura 2.6. Ballesta instalada en un Hummer

2.3.1.3 Muelles helicoidales

Los muelles tienen la misma misión que las ballestas, absorber las irregularidades del terreno. La sustitución de las ballestas por los muelles es debido a que estos presentan la ventaja de presentar una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso excesivo.

Están constituidos por una varilla de acero de entre 10 y 15 mm generalmente, enrollado en forma de hélice. Sus espiras se hacen planas para obtener un buen asiento. El diámetro del muelle varía en función de la carga que tiene que soportar. La flexibilidad del muelle será función del número de espiras, del diámetro del resorte, del espesor o diámetro del hilo, y de las características elásticas del material.

Las espiras de los extremos son planas, para favorecer el acoplamiento del muelle en su apoyo. Los muelles reciben esfuerzos de compresión, pero debido a su disposición helicoidal trabajan a torsión.

2.3.1.4 Barras de torsión

Las barras de torsión funcionan de manera parecida a los muelles helicoidales. Su funcionamiento se basa en el principio de que cuando a una varilla de acero elástico que está sujeta por un extremo se le aplica en el otro un esfuerzo de torsión, la varilla irá retorciéndose y volviendo a su forma original debido a su elasticidad, cuando el esfuerzo de torsión haya cesado.

El montaje de las barras de torsión de manera que se fija uno de los extremos al chasis o bastidor de manera que el giro en su soporte esté impedido. En el otro extremo se coloca una palanca solidaria a la barra y en su extremo libre al eje de la rueda, de manera que cuando ésta suba o baje debido a las excitaciones producidas por las irregularidades del firme se produzca un esfuerzo de torsión cuya deformación elástica permite el movimiento de la rueda.

Su colocación en el vehículo puede ser de dos formas distintas: colocadas paralelas a la dirección longitudinal del vehículo o por el contrario colocadas transversalmente a dicha dirección.

Para la fabricación de estos elementos se utiliza una aleación tratada por calor para el acero. Durante la manufactura son estiradas para conseguir una mayor resistencia contra la fatiga.

2.3.1.5 Barras estabilizadoras

El balanceo de un coche al tomar una curva puede llegar a ser importante, y convertirse en un movimiento perjudicial para su estabilidad y equilibrio dinámico. El elemento de la suspensión que se utiliza mas habitualmente para disminuirlo es la barra antibalanceo, también conocida como barra estabilizadora.

La barra estabilizadora es una varilla en forma de U y en cada uno de los extremos conectada a los brazos de control inferiores a través de montajes de caucho (Figura 2.7).

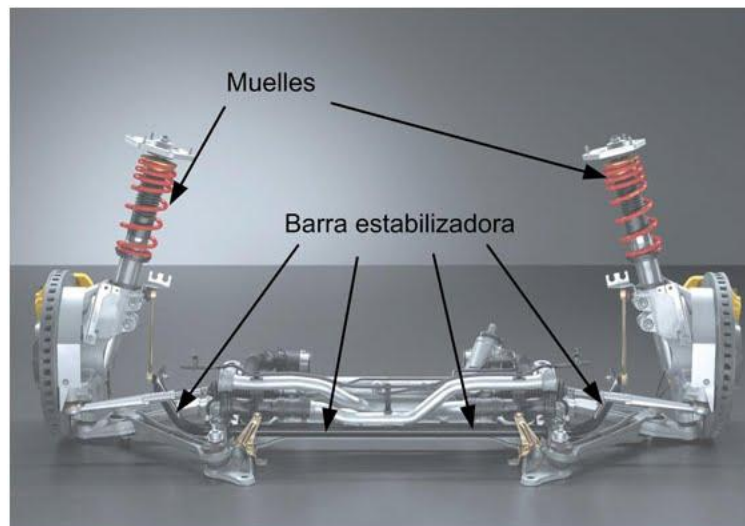


Figura 2.7: Barra estabilizadora

En las curvas la fuerza centrífuga transfiere parte del peso del automóvil a las ruedas exteriores. Si el vehículo tiene una suspensión independiente no

se puede contrarrestar la tendencia del automóvil a inclinarse hacia el extremo de la curva.

Con el fin de reducir este efecto, los brazos de control izquierdo y derecho están unidos a una barra estabilizadora, que es básicamente una barra de torsión transversal. Así, cuando se inclina el automóvil, se tuerce para resistir el movimiento y mantener más nivelado el automóvil.

2.3.2 AMORTIGUADOR

Los amortiguadores se instalan sobre un sistema de suspensión para detener rápidamente la vibración natural de los elementos elásticos producidos por las irregularidades de la carretera, lo que mejora el desplazamiento, control y manejo. El muelle regula acciones debido al peso del automóvil y el amortiguador controla la vibración o la oscilación (Figura 2.8).



Figura 2.8. Amortiguador de un Jaguar XF

Se puede clasificar a los amortiguadores según dos criterios: en función del sentido de trabajo, el número de tubos que lo forman y en función del fluido de amortiguación [2][3][5].

2.3.2.1 En función del sentido de trabajo

Los amortiguadores en función del sentido de trabajo se clasifican de la siguiente manera:

De simple efecto. Sólo amortiguan en un sentido, es decir cuando se produce el efecto de expansión o compresión, el fluido situado en las cámaras no circula a través de los pasos calibrados; por tanto no amortiguan en uno de los sentidos.

De doble efecto. Amortiguan tanto durante la extensión como durante la compresión. Su funcionamiento consiste en que cuando el amortiguador se comprime parte del aceite que se encuentra en la cámara intermedia pasa a la cámara superior a través de las válvulas situadas en el pistón. El resto del aceite pasa a la cámara inferior a través de las válvulas que limitan el paso de aceite, amortiguando la compresión.

2.3.2.2 En función del número de tubos

Los amortiguadores en función del número de tubos se clasifican de la siguiente manera:

Monotubo. Su uso está cada vez más extendido, sobre todo en vehículos de altas prestaciones y en competición. Constan de dos cámaras principales. Una contiene el aceite y otra gas a presión (normalmente nitrógeno) que están separadas por un pistón flotante. Solamente hay válvulas en el pistón (Figura 2.9).

Bitubo. Son los más comunes actualmente. A su vez los hay de dos tipos: no presurizados (aceite) y no presurizados (aceite y gas). Estos amortiguadores constan de dos cámaras. Una llamada interior y otra de reserva. Hay válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada válvula de pie (Figura 2.9).

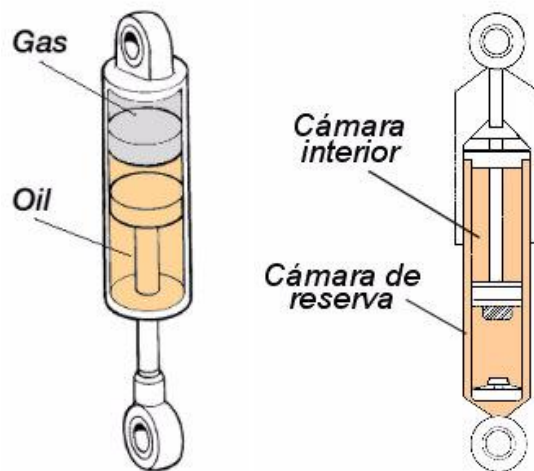


Figura 2.9. Esquema amortiguador monotubo y bitubo

2.3.2.3 En función del fluido de amortiguación

Los amortiguadores en función del fluido de amortiguación se clasifican en:

Amortiguador hidráulico (Figura 2.10). Basado en la retención producida al hacer pasar un líquido de viscosidad determinada por uno o más conductos de pequeño diámetro. Debido a que el elemento que realiza la función de amortiguador es un líquido les conoce como hidráulicos. Este líquido suele ser un aceite cuyo grado de viscosidad es muy alto.

Dentro de los amortiguadores hidráulicos existen distintos tipos, como son los *amortiguados telescópicos* (formados por un cilindro lleno de aceite por el que se desliza un pistón solidario a un vástago, estando este ultimo amarrado a la carrocería y el cilindro a la rueda); los *amortiguadores giratorios* (en los que las cámaras donde se producen las variaciones de volumen son circulares y cuyas cámaras están separadas por unas válvulas unidireccionales); y los *amortiguadores de balancín* (disponen de una palanca solidaria a la rueda que acciona un embolo que se desplaza en una cámara ubicada a ambos lados de la palanca).

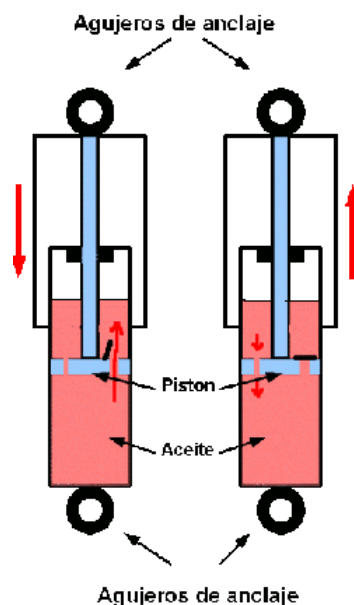


Figura 2.10. Amortiguador hidráulico

Amortiguador de gas. La disposición de este tipo de amortiguadores es similar a la de los amortiguadores hidráulicos. En el extremo de estos amortiguadores se dispone de una pequeña cantidad de nitrógeno a alta presión (en torno a 25 bares). El gas se comprime por la acción del fluido hidráulico almacenando la energía.

Este tipo de amortiguadores presentan las siguientes ventajas:

- Las variaciones de volumen en la cámara inferior son absorbidas, resultantes de los distintos volúmenes desalojados por el émbolo.
- Se evita la formación de burbujas en el aceite que provocan comportamientos irregulares, ya que el aire que las forma pasa con mucha mayor facilidad por las válvulas ubicadas en el émbolo deslizante.

Amortiguador mecánico. Su utilización actualmente es mínima. Existen dos tipos dentro de estos amortiguadores: de inercia (transforman energía cinética en calorífica) o de fricción (producen un efecto oscilante).

2.3.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA SUSPENSIÓN

Los elementos estructurales de la suspensión son aquellos que posibilitan el funcionamiento de la suspensión sujetando y guiando a la rueda en su desplazamiento. Se intercalan con los restantes dispositivos de tracción y dirección sirviendo también de soporte y fijación a los componentes citados, así como entre ellos mismos [5][6][7].

2.3.3.1 Trapecios

Los trapecios (Figura 2.11) están fabricados en chapa de acero, en acero o en fundición de aluminio. Se intercalan entre la mangueta y la carrocería, fijándose a la misma generalmente mediante *silentblocks*, mientras que a la mangueta se fijan mediante rótulas.

Actúan como guía del conjunto rueda–mangueta en sus recorridos oscilantes además de proporcionar sujeción al conjunto y de soportar grandes esfuerzos longitudinales y transversales. En función del tipo de suspensión se puede disponer de uno o dos trapecios, ya que debido a que poseen dos puntos de anclaje al chasis no necesitan el acople de tirantes.



Figura 2.11: Trapecio

2.3.3.2 Brazos

La función que desempeñan es similar a la de los trapecios, diferenciándose en que estos últimos sólo tienen un punto de sujeción al chasis. Soportan esfuerzos en la dirección del propio brazo, en ambos sentidos (tracción o compresión). Por su forma y por el tipo de articulaciones que tienen normalmente, no están hechos para soportar esfuerzos laterales (paralelos a los ejes de sus articulaciones) (Figura 2.12).



Figura 2.12. Brazo rígido curvo

En el eje delantero se disponen de forma transversal guiando el desplazamiento de la rueda. Para contrarrestar las oscilaciones longitudinales disponen de tirantes de reacción. En el eje trasero normalmente se disponen longitudinalmente tomando el nombre de brazos tirados.

Los brazos pueden ser rígidos o flexibles y rectos o curvos.

2.3.3.3 Triángulos

Son elementos de unión con tres extremos, de los cuales generalmente tiene dos en el bastidor y uno en la mangueta. Los triángulos sirven de soporte y fijación de la mangueta a través de una rótula, y la fijación y pivotamiento de estos se consigue con dos articulaciones a través de la cuna mediante *silentblocks*. En la figura 2.13 se puede observar el triángulo de una suspensión.

La fabricación de estos elementos suele ser en chapa de acero, en acero macizo e incluso en fundición de aluminio.

Dentro de los triángulos cabe distinguir dos tipos: en L (con un ángulo recto y un lado paralelo, o casi al eje de las ruedas) y en A (con formas y ubicaciones variadas).

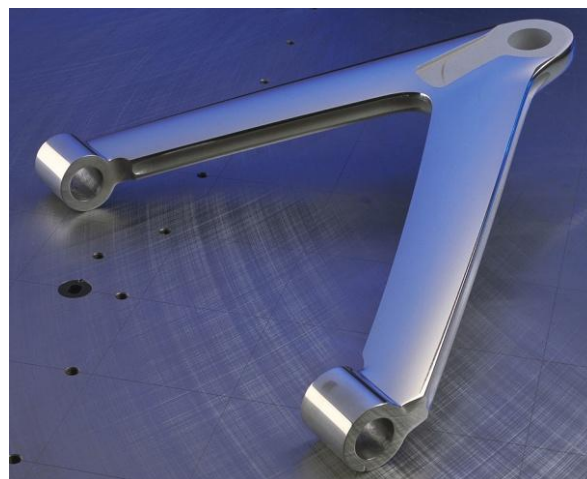


Figura 2.13. Triángulo en A

2.3.3.4 Tirantes

Los tirantes tienen forma tubular y complementan a ciertos elementos de suspensión, con los que no se consigue un guiado y sujeción lo suficientemente efectivo de la rueda. Con su disposición se evitan alteraciones en la geometría de la misma y sus ángulos, mediante la absorción de los desplazamientos y esfuerzos de los elementos de la suspensión a través de los *silentblocks* o cojinetes elásticos montados en sus extremos. En concreto, se montan conjuntamente con los brazos cuando estos se disponen transversalmente, sobre todo en el eje delantero. Otra de sus funciones es la de complemento a los sistemas multibrazo, sobre todo cuando se disponen en el eje trasero y sus ruedas son motrices.

2.3.3.5 Manguetas

En ellas va fijada la rueda (permitiendo su giro a través de un buje) y todos los demás elementos de la suspensión. Están fabricadas en aceros de alta calidad ya que deben de soportar todos los esfuerzos que produce la marcha del vehículo a través de las ruedas y transmitirlos sin interferencia a la suspensión del vehículo. La mangueta se diseña teniendo en cuenta las características geométricas del vehículo.

En la figura 2.14 se puede observar una imagen donde se puede ver la mangueta.



Figura 2.14. Mangueta

2.3.3.6 Rótulas, articulaciones y *silentblocks*

Con el fin de conseguir la unión entre los distintos dispositivos de los sistemas de dirección y suspensión se utilizan articulaciones, cuya función es la de absorber movimientos y oscilaciones para que éstos no sin entorpezcan la transmisión del movimiento.

Las rótulas son elementos de unión que permiten el giro de distintas direcciones. Estos elementos son los más utilizados, y están formados por una bola de acero en el interior de un cuerpo metálico, mediante dos soportes de nylon que permiten el giro de la bola por acción del vástago unido a ella. Además disponen de un muelle que hace que la bola se ajuste a sus soportes sin holguras. El vástago va roscado por su parte superior con una tuerca almenada, que lo sujeta a los elementos de suspensión. La tuerca va asegurada mediante un pasador para evitar que se afloje (Figura 2.15).

Cuando es necesario el giro y no sea necesaria la variación de la posición angular, el elemento que se utiliza es el *silentblock* (Figura 2.15). Dichos elementos están formados por un componente de goma colocado entre los dos elementos con el fin de que no se vibraciones y ruidos al tiempo que permiten cierta elasticidad en la articulación.



Figura 2.15: *Silentblock* y rótula

2.4 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE SUSPENSIÓN

La clasificación de los sistemas de suspensión se puede realizar en base a distintos criterios, como la clasificación según la geometría, en función de los componentes del sistema de amortiguación, según el elemento amortiguador o según el sistema de control.

En este proyecto, se seguirá una clasificación de los sistemas de suspensión considerando dos tipos de clasificaciones. La primera clasificación se hará según la geometría del sistema de suspensión, y la segunda tendrá en cuenta el sistema de control utilizado [8][9].

2.4.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN GEOMETRÍA

En esta clasificación se incluyen tres grupos de suspensión, como son: suspensiones rígidas, semirrigidas e independientes. A continuación se detallan las principales características de los tres tipos de suspensiones.

2.4.1.1 Suspensiones rígidas

Se denomina suspensión rígida a aquella suspensión que posee un elemento rígido (barra) que une las ruedas de un mismo eje. Este tipo de suspensión también es conocido como sistema “dependiente”, puesto que una rueda se encarga de transmitir el movimiento a la otra. En la figura 2.16 se puede ver una suspensión rígida. En ella se observa como la inclinación del eje se transmite a todo el vehículo al estar éste unido al bastidor y como la inclinación de una rueda afecta a la otra del mismo eje.

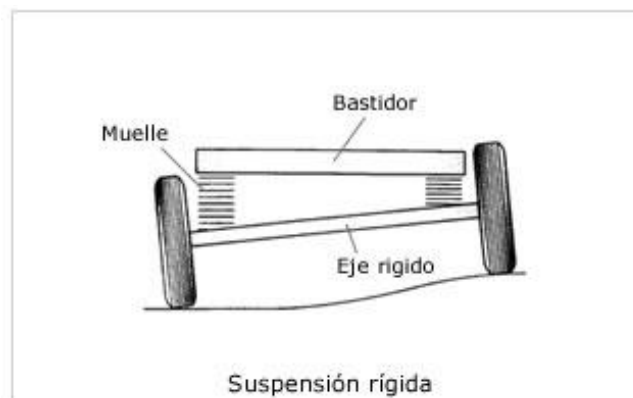


Figura 2.16. Suspensión rígida

La principal ventaja con la que cuentan este tipo de suspensiones es que los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no generan variaciones significativas en distintos parámetros de la rueda, como son los ángulos de caída, avance, etc.

Por otro lado, el principal inconveniente de este tipo de suspensión es que, debido a que las ruedas están unidas entre sí las vibraciones producidas por las irregularidades de la carretera se transmiten a lo largo del eje. Además el peso de las masas no suspendidas aumenta de manera considerable por el peso del eje rígido.

Con estas características las suspensiones rígidas suelen utilizarse en vehículos industriales, vehículos todo terreno, autobuses y camiones.

2.4.1.2 Suspensiones semirrígidas

Las suspensiones semirrígidas poseen gran similitud con las rígidas. Principalmente se diferencian en que las ruedas están unidas como en el eje rígido pero transmitiendo parcialmente las irregularidades del pavimento.

Dentro de las suspensiones semirrígidas se pueden destacar dos tipos de suspensiones, la suspensión con “eje torsional” y la suspensión con “eje de Dion”.

La suspensión con “eje torsional” (Figura 2.17) es utilizada generalmente en las suspensiones traseras de vehículos de tracción delantera. El tubo o traviesa que une las ruedas tiene forma de “U”, por lo que puede deformarse un cierto ángulo si las ruedas encuentran un obstáculo.

Las ruedas están unidas rígidamente a dos brazos longitudinales, que a su vez están unidos por un travesaño, el cual se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo. Esta configuración posibilita, mediante la torsión del puente, una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, que junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan se han convertido en una opción adecuada para instalarlas junto con otros componentes debajo del piso (depósito de combustible, escape,

etc.). Todo esto ha conseguido que este tipo de suspensiones se conviertan en una de las más empleadas en vehículos de gama media-baja.

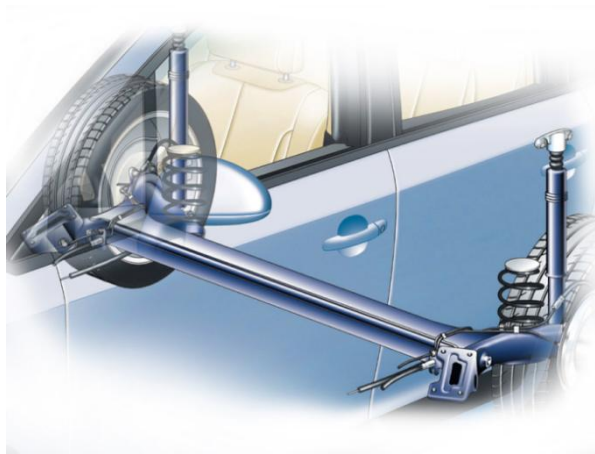


Figura 2.17. Suspensión semirrígida con barra torsional

El otro tipo de suspensión semirrígida es el “eje de Dion” (Figura 2.18). En ella las ruedas van sujetas mediante soportes articulados al grupo diferencial. Así se consigue la transmisión del giro a las ruedas a través de dos semiejes (palieres), y a su vez las ruedas van unidas entre sí mediante el tubo de Dion. La principal ventaja con respecto al rígido es la disminución de la masa no suspendida, manteniendo así los parámetros de la rueda prácticamente constantes.

La suspensión posee además elementos elásticos de tipo muelle helicoidal y suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos en una dirección.



Figura 2.18. Suspensión semirrígida con “eje de Dion”

2.4.1.3 Suspensiones independientes

La utilización de este tipo de suspensión está aumentando considerablemente debido a que optimiza los parámetros de estabilidad y confort al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el terreno, eliminando así la transmisión entre ruedas del mismo eje. Como ventaja añadida, se puede destacar que posee un menor peso no suspendido, disminuyendo de esta manera las perturbaciones transmitidas al chasis. A pesar de ello, para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas, tanto es así que en la actualidad este tipo de suspensión sólo se suele emplear en las ruedas directrices.

Como inconvenientes, la suspensión independiente presenta un mayor coste, una mayor complejidad del sistema, además de problemas para cargas elevadas.

En este proyecto se muestran tres de las más importantes suspensiones independientes: suspensión McPherson, suspensión multibrazo o *multilink* y suspensión de paralelogramo deformable:

Suspensión McPherson

La suspensión McPherson es el sistema más compacto y liviano. Actualmente es el sistema de suspensión más utilizado en el eje delantero de los automóviles, aunque se puede montar también en el trasero.

Fue desarrollada por Earl S. McPherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento y por el coste de producción.

Se caracteriza por tener unido solidariamente el amortiguador al buje de la rueda, de manera que el movimiento del bastidor con relación a la rueda tiene la misma dirección que el eje perpendicular del amortiguador.

Es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con el fin de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.

Sus principales ventajas son un menor consumo de gasolina y un menor número de componentes en el sistema, logrando así ahorro de espacio del motor. Por último, permite un sistema de tracción delantera más sencillo.

En la figura 2.19 se muestra una suspensión McPherson.



Figura 2.19. Suspensión McPherson

Suspensión multibrazo o *multilink*

La suspensión multibrazo o *multilink* es un sistema empleado en el eje trasero de los turismos de propulsión actuales que proporciona un eficaz guiado de las ruedas en sus movimientos oscilatorios, al tiempo que absorbe todas las reacciones dinámicas que se generan en las mismas, como consecuencia del gran par aplicado en ellas.

Este tipo de suspensión consigue variar la geometría de las ruedas, adaptándose a los ángulos más adecuados con el fin de ofrecer el máximo rendimiento en cada situación.

Todas estas características se consiguen con anclajes elásticos mediante manguitos de goma.

En la figura 2.20 se puede observar una suspensión multibrazo o *multilink* colocada en la suspensión delantera de un Audi A6.



Figura 2.20. Suspensión multibrazo de un Audi A6

Las suspensiones multibrazo se pueden clasificar en dos grupos:

- Suspensiones multibrazo con elementos de guía transversales u oblicuos, cuyo funcionamiento es similar al de las suspensiones de paralelogramo deformable.
- Suspensiones multibrazo con brazos de guía longitudinal, cuyo funcionamiento recuerda a los sistemas de suspensión de ruedas tiradas por brazos longitudinales.

Suspensión de paralelogramo deformable

En este sistema de suspensión, también conocido como suspensión por trapecio articulado, tiene elementos de unión entre la rueda y la carrocería que son transversales y están colocados en distintos planos. El nombre se debe a que los primeros sistemas desarrollados con esta tecnología montaban dos elementos superpuestos paralelos que, junto con la rueda y la carrocería forman, de manera aproximada, la figura de un paralelogramo.

Es junto con el sistema de suspensión McPherson la más utilizada en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero.

Su funcionamiento se basa en que al moverse la rueda con respecto a la carrocería, ese paralelogramo se «deforma». Existen paralelogramos deformables de hasta cinco elementos, algunos transversales y también oblicuos.

En la figura 2.21 se puede apreciar el detalle de una suspensión de paralelogramo deformable.



Figura 2.21. Suspensión de paralelogramo deformable

2.4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SISTEMA DE CONTROL

Actualmente en la industria del automóvil existen tres suspensiones diferentes según su comportamiento frente a las irregularidades del pavimento: las suspensiones pasivas, activas y las semiactivas.

A continuación se explican las diferencias entre los tres modelos existentes.

2.4.2.1 Suspensión pasiva

Las suspensiones pasivas suponen el sistema idóneo para aumentar el confort del pasajero por lo que, tradicionalmente, es este tipo de suspensiones el que se monta en los vehículos. Esta suspensión está compuesta por un

sistema de muelle-amortiguador que pretende absorber las irregularidades del terreno, además de aumentar la seguridad y nivel del confort de los pasajeros. La característica principal de este tipo de suspensiones es que, una vez instalados, los parámetros (altura, resistencia, etc.) no pueden manipularse desde fuera.

El principal inconveniente que presenta es el de lograr el compromiso necesario entre el confort para los ocupantes del vehículo y la estabilidad necesaria para obtener una conducción segura.

En la figura 2.22 se puede observar el esquema de una suspensión pasiva.

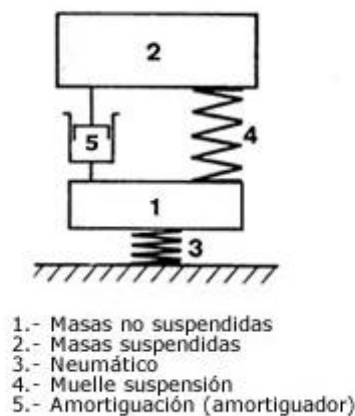


Figura 2.22. Esquema de una suspensión pasiva

Actualmente, este tipo de suspensiones son las más habituales es los vehículos debido principalmente a su menor coste.

2.4.2.2 Suspensión activa

La suspensión activa ofrece una solución tecnológica muy avanzada con el fin de conseguir dos objetivos importantes: el confort de los ocupantes y mantener en contacto los neumáticos con el suelo para eliminar el balanceo en curva y cabeceo en la frenada. En la actualidad, las suspensiones trabajan de forma progresiva, consiguiendo de esta manera una adaptación al nivel de carga del vehículo más adecuado.

Este tipo de suspensiones permiten actuar sobre cada rueda de manera rápida y constante para operar de forma regulable sobre las mismas, consiguiendo así un elevado nivel de exigencia. Se necesita un sistema de control mucho más complejo que los anteriores. La suspensión activa se compone de una serie de sensores y actuadores que necesitan de un canal externo de energía.

Un conductor que circule con un automóvil con que disponga de suspensión activa advertirá un cambio sensible al tomar una curva, puesto que el coche no se inclinará hacia el lado exterior de la curva, sino que mantendrá su plano transversal lo más horizontalmente posible.

En las figura 2.23 se muestra el esquema de una suspensión activa.

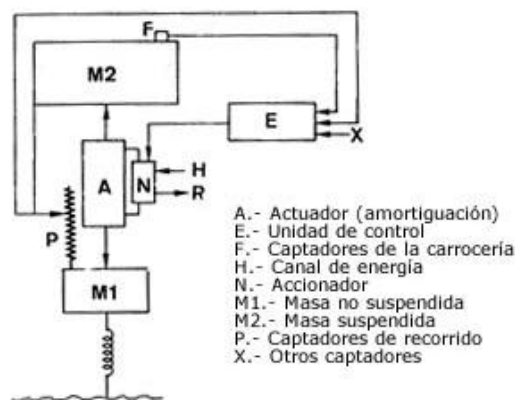


Figura 2.23. Esquema de una suspensión activa

La suspensión activa puede ser clasificada como de baja frecuencia o *Low Bandwidth*, con funcionamiento entre 3 y 15 Hz, o de alta frecuencia, también conocida como *High Bandwidth* y que alcanzan los 10 o 12 Hz.

La principal ventaja de la suspensión activa frente a la suspensión pasiva es la posibilidad de conseguir un control de cada rueda independiente, con el consiguiente aumento de adherencia al pavimento permitiendo un reposicionamiento de la carrocería casi perfecto.

El inconveniente que presentan estas suspensiones es su elevado coste, principalmente en la implementación de las altas frecuencias.

2.4.2.3 Suspensión semiactiva

Las suspensiones semiactivas surgen como respuesta a los altos precios que presentaban las suspensiones activas. Estas suspensiones incorporan elementos activos con los que se consigue controlar las bajas frecuencias y pasivos para las altas frecuencias, de manera que se mejora considerablemente el comportamiento del vehículo ante las irregularidades de la calzada.

Normalmente, el elemento activo en las suspensiones semi-activas es el amortiguador, el cual se controla variando su constante de amortiguamiento mediante sistemas hidroneumáticos, electrónicos o magnéticos o mediante electroválvulas.

En la figura 2.24 se ve el esquema que dispone una suspensión semiactiva.

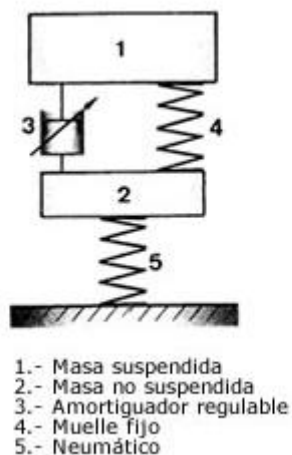


Figura 2.24. Esquema de suspensión semiactiva

Las principales ventajas de la suspensión semiactiva son:

- Una marcha ajustable, optimizada para obtener el mayor rendimiento en la conducción y el confort.
- La posibilidad de seleccionar la firmeza de la suspensión.
- La suspensión se ajustará automáticamente según las condiciones de la carretera.
- El mismo dimensionado comparado con los sistemas de suspensión tradicionales.

El principal inconveniente reside en que tienen un tiempo de respuesta superior al tiempo de muestreo del controlador por lo que la fuerza de control generada es diferente a la fuerza de control deseada.

2.5 LA SUSPENSIÓN LONGITUDINAL

La suspensión longitudinal o de rueda tirada es aquella en la que el elemento principal de la suspensión está por delante del eje de la rueda [5][7].

Son muy raros los casos en los que este tipo de suspensión se usa en el eje delantero, ya que por norma general se suelen utilizar en suspensiones traseras.

Básicamente se pueden distinguir dos tipos en la suspensión longitudinal o de rueda tirada: una, la que tiene un brazo longitudinal para cada rueda (unidos por un eje torsional); y otra, que tiene otros elementos de unión, que pueden ser más de un brazo, un triángulo o un trapecio.

2.5.1 RUEDA TIRADA CON UN BRAZO

En este tipo de suspensión, el brazo es longitudinal, tiene una articulación en el bastidor y ninguna en la rueda (está unido a ella).

Las características que tiene son las siguientes:

- La vía aumenta si hay movimiento relativo entre las dos ruedas.
- No se puede variar la caída según el recorrido de suspensión.
- Cuando la carrocería se inclina en una curva, el eje de la articulación también se inclina.

Existen dos variantes de este tipo de suspensión: la de rueda tirada por brazos independientes y la de brazos unidos por un eje torsional.

La primera es la suspensión de rueda tirada o brazo tirado clásica. En este tipo de suspensión, hay un elemento de unión en la dirección de la marcha. La articulación del bastidor (en la rueda no hay articulación) tiene un eje de giro transversal y está colocado más alto que el eje de la rueda (Figura 2.25).

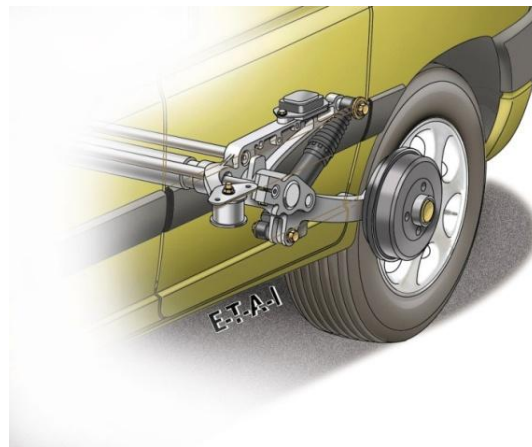


Figura 2.25. Suspensión longitudinal clásica

Es el tipo de suspensión más frecuente en el eje trasero de los coches franceses de tracción delantera, desde la época del Citroën 2CV hasta finales de los 90. En casos muy raros hay suspensiones de rueda tirada en el eje delantero.

El segundo tipo de suspensión es el que se viene utilizando desde los años 90 vehículos de pequeño tamaño. En ella los brazos están unidos por un eje torsional (Figura 2.26).

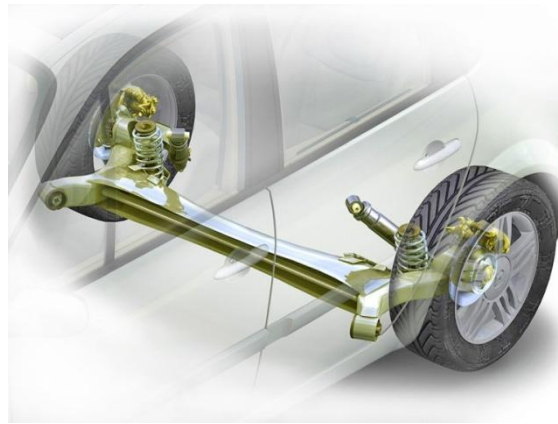


Figura 2.26. Suspensión longitudinal de brazos unidos por barra torsional

Lo que distingue a esta suspensión es que los dos elementos de unión (un brazo para cada rueda) están unidos por un elemento elástico, que cede a la torsión y no a la compresión. Es por eso que este tipo de eje se distingue de una rueda tirada normal en que todos los elementos de unión forman una sola pieza. El movimiento de uno de los brazos produce necesariamente una fuerza en el otro brazo que será mayor cuanto menor sea la flexibilidad del eje torsional.

En el eje torsional, a diferencia de la rueda tirada clásica, la articulación del bastidor no está obligatoriamente por encima del eje de las ruedas. Otra diferencia es que el eje de la articulación no siempre es transversal a la marcha, a veces es ligeramente oblicuo.

Este tipo de eje inicialmente se utilizó en los coches alemanes de tracción delantera y se ha extendido también a coches franceses modernos.

El eje torsional no tiene nada que ver con las barras de torsión. Una barra de torsión es un tipo de muelle que, en algunas suspensiones de rueda tirada, está colocada (una o varias) transversalmente y en el eje de la articulación. La función de este tipo de muelle y de un eje torsional es completamente distinta y, de hecho, las suspensiones de eje torsional tienen un muelle helicoidal.

2.5.2 RUEDA TIRADA CON OTROS ELEMENTOS DE UNIÓN

La inclusión de otros elementos de unión permite, a diferencia del la de un solo brazo, variar la caída de la rueda según el recorrido de suspensión. Otra ventaja que aporta es un aumento de resistencia a esfuerzos transversales con respecto a la que tiene un solo brazo. Es por ello que generalmente se usa en coches de tracción trasera.

Cuando este tipo de suspensión era frecuente, lo normal es que el elemento de unión fuera un triángulo y con ejes oblicuos en las dos articulaciones del bastidor, como se puede ver en la imagen 2.27.



Figura 2.27. Rueda tirada con otros elementos de unión

Esta suspensión era característica de coches de tracción trasera, como BMW o Mercedes-Benz, hasta mediados de los 80, y hasta los 90 de muchos coches americanos que no tenían un eje rígido.

CAPÍTULO 3

MODELADO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN AL CAD

Actualmente, las técnicas asistidas durante las etapas de diseño y fabricación de piezas en la industria han permitido un gran avance en la misma, reduciendo tiempos y mejorando así la productividad. Estas técnicas asistidas son herramientas al servicio de la producción industrial, teniendo todas en común la intervención del ordenador. Las de uso más frecuente son [10]:

- El diseño asistido por ordenador, CAD (*Computer Assisted Design*), con la que se posibilita la generación y creación de elementos en 2D (planos), así como modificar y representar objetos virtuales (piezas, conjuntos, superficies, etc.)
- La fabricación asistida por ordenador, CAM (*Computer Assisted Manufacturing*), que hace referencia concretamente a aquellos a Control Numérico necesarios para fabricar las piezas en máquinas con CNC.
- La ingeniería asistida por ordenador, CAE (*Computer Assisted Engineering*), la cual se encarga de evaluar el comportamiento del proyecto diseñado en una situación real: al exponerlo a deformaciones, vibraciones, esfuerzos, etc. e incluso a optimizar el proceso de fabricación.
- La planificación de procesos asistida por ordenador, CAPP (*Computer Assisted Processing and Planning*), mediante la cual se gestiona el funcionamiento de toda la planta de producción, con capacidades de simulación de procesos, control de tiempos y herramientas de fabricación, control de calidad, etc.
- El ensayo asistido por ordenador, CAT (*Computer Assisted Testing*), en el cual se generan las condiciones de contorno para las pruebas y ensayos de un determinado producto.

- La ingeniería inversa, RE (*Reverse Engineering*), la cual toma un producto existente y trata de saber su funcionamiento, de que materiales está hecho, como lograrlos y si es posible mejorar su funcionamiento.

Gracias a estas técnicas se puede lograr un importante ahorro de tiempo y reducción en los costes del producto, sobre todo si se aplican de forma global e integrada. De todas estas técnicas, el CAD es el inicio.

El CAD atiende prioritariamente aquellas labores exclusivas del diseño, como el dibujo técnico y la documentación del mismo. A pesar de ello, también permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado.

Las mejoras que se alcanzan son:

- Mejora en la representación gráfica del objeto diseñado: con el CAD el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento, y observable desde distintos puntos de vista. Cuando se desee, un dispositivo de impresión (plotter) proporciona una copia en papel de una vista del modelo geométrico.
- Mejora en el proceso de diseño: se pueden visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias, etc. En conclusión, se optimiza el proceso de creación de un nuevo producto reduciendo costes, ganando calidad y disminuyendo el tiempo de diseño.

Con todas estas mejoras se consigue una mayor productividad en el trazado de planos, integración con otras etapas del diseño, mayor flexibilidad, mayor facilidad de modificación del diseño, ayuda a la estandarización, disminución de revisiones y mayor control del proceso de diseño.

Según la capacidad de representación de un objeto, las técnicas de diseño asistido por ordenador pueden clasificarse en:

- CAD 2D: Basados en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. (Ejemplo AutoCAD).
- CAD 3D: Considera los objetos como entes tridimensionales como pueden ser superficies y sólidos (Ejemplo Solid Edge).

Dentro de las distintas operaciones y funciones que existen en el diseño de objetos se encuentran las operaciones booleanas, como son la unión, intersección y diferencia de formas primitivas. Sin embargo, últimamente se tiende más a que las aplicaciones implementen operaciones similares a las utilizadas en los procesos de fabricación, como roscado, taladrado, corte, chaflán, redondeo, etc.

Algunos de los programas más importantes, y con ello más conocidos son los siguientes:

- Catia.
- MsAdams.
- Proengineer.
- AutoCAD.
- Solid Edge.

Para la realización de este proyecto se ha utilizado el programa Solid Edge, con el cual se ha modelado la suspensión longitudinal. Las razones de la elección de este programa han sido las siguientes:

- Claro y visual a nivel 3D.
- Intuitivo en el aprendizaje y fácil de utilizar.
- Permite la obtención de imágenes para la recreación de mundos virtuales.

3.2 SOLID EDGE

Solid Edge fue presentado en 1996. Inicialmente fue desarrollado por Intergraph como uno de los primeros entornos basados en CAD para Windows NT, ahora pertenece y es desarrollado por Siemens AG [11][12].

Solid Edge permite la representación de piezas y conjuntos en 3D, así como modelado en chapa, representación de soldaduras y generación de planos en 2D.

Las principales características de este programa son las siguientes:

- Cuenta con herramientas específicas para el proceso de modelado de piezas de plásticos.
- Solid Edge tiene la capacidad de gestionar grandes conjuntos complejos formados por muchas piezas y subconjuntos.
- Puede gestionar datos de conjunto desde las primeras fases de planificación del proyecto hasta los ciclos de revisión, fabricación, mantenimiento del proyecto y archivado.
- En el módulo conjunto se puede hacer una verificación visual del movimiento en un ensamble y búsqueda de interferencias en todo el rango de movimiento.
- Con Solid Edge se generan modelos virtuales muy precisos incorporando conocimiento de ingeniería para evitar errores costosos y trabajo innecesario.
- Facilidad para la evaluación de un mayor número de alternativas de diseño en menos tiempo, para optimizar el rendimiento y aumentar la fiabilidad.

- Seguimiento de los dibujos de ingeniería, consecuencia de las alteraciones del modelo de diseño en 3D.
- Herramientas paramétricas basadas en operaciones para modelar piezas mecánicas.
- Entornos especializados para chapas metálicas, soldaduras y tuberías.
- Controles de diseño, detalle, anotación y dimensiones que se ajustan automáticamente al estándar del plano mecánico seleccionado.
- Sistema asociativo de producción de planos que crea y actualiza automáticamente los dibujos de modelos 3D.
- Conversión de datos desde y hacia formatos CAD: ACIS, AutoCAD (DXF/DWG), IGES, MicroStation, STEP, Parasolid, Pro/ENGINEER, etc.

3.2.2 FUNCIONAMIENTO DE SOLID EDGE

Si se ejecuta el programa Solid Edge v19 aparece ventana que se muestra en la figura 3.1, donde se elige el entorno en el que se comenzará a trabajar.



Figura 3.1. Ventana de inicio de Solid Edge

Desde esta pantalla se pueden realizar distintas acciones: crear piezas sólidas, piezas de chapa, soldaduras, conjuntos y planos. Así mismo se pueden abrir documentos existentes y recientes. Otra de las acciones que se pueden realizar son tutoriales de Solid Edge y acceder información a través de las principales páginas web del programa. Si ya se ha iniciado Solid Edge y se quiere abrir un nuevo archivo, se tiene que pulsar en Archivo-Nuevo y seleccionar el tipo de archivo según el entorno deseado:

Pieza sólida	Normal.par
Pieza de chapa	Normal.psm
Soldadura	Normal.pwd
Conjunto	Normal.asm
Plano	Normal.dft

Al hacer clic en crear pieza sólida, aparece la ventana mostrada en la figura 3.2, con los menús y barras de herramientas que se exponen posteriormente:

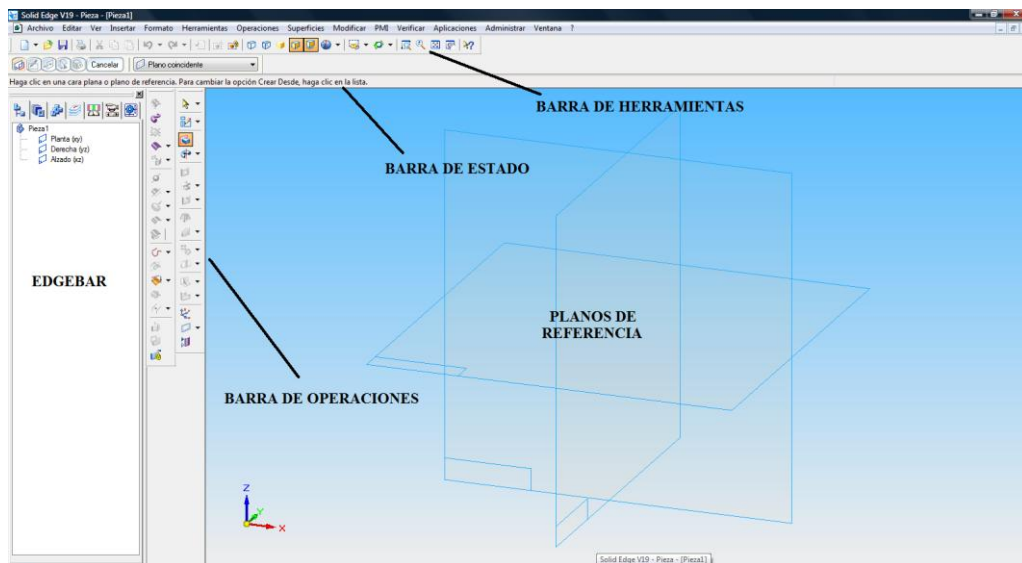


Figura 3.2. Entorno 3D

Barra de herramientas (Figura 3.3): Común en todos los programas que trabajan con el SO WINDOWS. En ella se puede observar las herramientas que se suelen utilizar: abrir, guardar, copiar, imprimir, etc.



Figura 3.3. Barra de herramientas

Edgebar (Figura 3.4): Es la ventana de ayuda para la gestión de tareas.

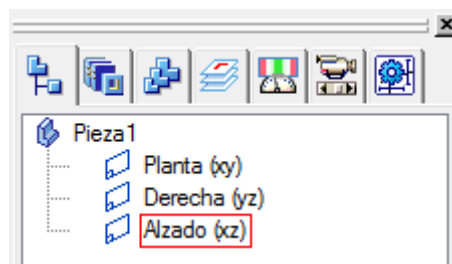


Figura 3.4. Edgebar

Menú cinta (Figura 3.5): Es una barra de herramientas dinámica sensible al contexto que aparece al hacer clic en un comando específico o al seleccionar un elemento.



Figura 3.5. Menú cinta

Planos de referencia (excepto entorno plano): Permiten definir el plano sobre el cual se va a trabajar.

Barra de estado (Figura 3.6): Identifica la herramienta (operación), además de una ayuda sobre el proceso de utilización de la misma, cuando se pulsa o se hace pasar el ratón sobre algún icono.

Haga clic en una cara plana o plano de referencia. Para cambiar la opción Crear Desde, haga clic en la lista.

Figura 3.6. Barra estado

Barra de operaciones (Figura 3.7): Esta barra muestra todas las operaciones que se pueden realizar sobre la pieza. Esta barra cambiará en el modo “Boceto” o en cualquier otro que así lo requiera.

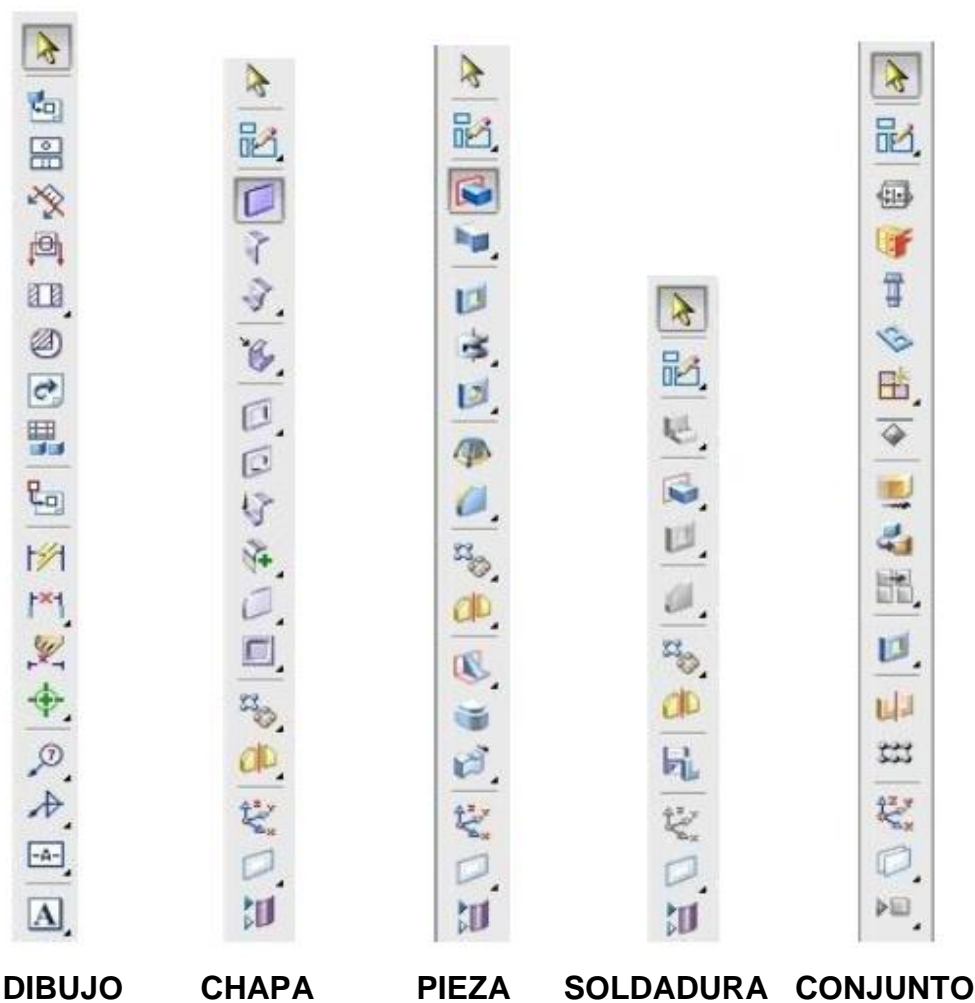













Figura 3.7. Barra Operaciones

A continuación se detallan las principales operaciones con las que se han realizado las piezas que componen la suspensión longitudinal:

- Protusión por proyección: Extruye un perfil o boceto paralelamente al plano seleccionado. 
- Protusión por revolución: Extruye el perfil seleccionado alrededor de un eje. 
- Protusión por barrido: Extruye el perfil a lo largo de una trayectoria. 
- Protusión por secciones: Crea una extrusión siguiendo el perfil de varias secciones. 
- Vaciado: Elimina material según un perfil paralelo al plano seleccionado. 
- Boceto: Dibujo inicial que sirve como modelo para cualquier operación. 
- Agujero: Sirve para hacer taladros, de manera que se puedan definir el tipo de taladro (abocardado, avellanado, roscado) y el diámetro del mismo. 
- Rosca: Se utiliza para roscar cilindros. 
- Redondear/Achaflanar: Aligeramiento en los bordes.  
- Patrón: Copia múltiple de una operación. 

Las herramientas que se presentan a continuación (Figura 3.8) se usan para generar los perfiles necesarios para realizar las operaciones antes descritas.

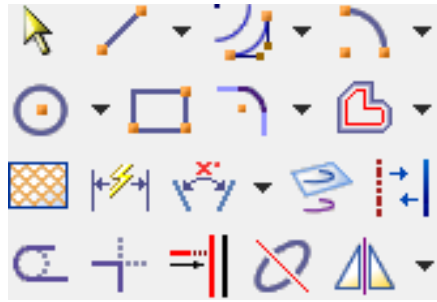


Figura 3.8. Herramientas Solid Edge

3.2.3 ENTORNOS SOLID EDGE

Solid Edge está dividido en distintos módulos o partes. Según sea el trabajo que se vaya a llevar a cabo, se elige entre uno u otro. La versión utilizada ha sido Solid Edge v19, que permite crear: pieza sólida, conjunto, plano, pieza de chapa y soldadura.

3.2.3.1 Pieza (.par)

Solid Edge permite construir modelos sólidos mediante su entorno de modelado de piezas, (Figura 3.9). El proceso de modelado de piezas comienza con una operación base que se trabaja con operaciones de pieza para crear un modelo. Las operaciones que se realizan en el entorno pieza son protrusiones y vaciados, agujeros, refuerzos, redondeos, ángulos de desmoldeo y chaflanes. También se pueden construir patrones de operaciones circulares y rectangulares y copias simétricas.

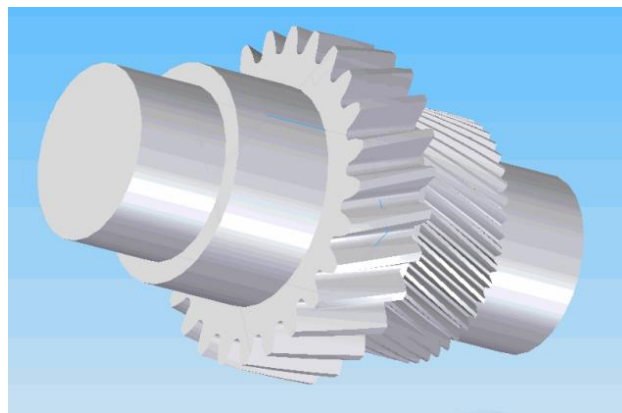


Figura 3.9. Entorno pieza

3.2.3.2 Conjunto (.asm)

El entorno conjunto de Solid Edge (Figura 3.10) permite construir, modificar, visualizar y analizar conjuntos con facilidad. En este entorno se pueden colocar las piezas, relacionarlas con el resto, anclarlas, colocar sistemas de sujeción y moverlas según interese. Además, cada pieza se visualizará o estará oculta según esté o no activada.

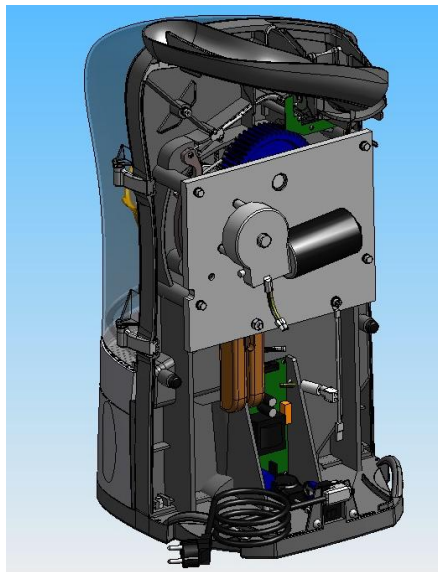


Figura 3.10. Entorno conjunto

3.2.3.3 Plano (.dft)

Solid Edge proporciona un entorno de plano independiente para producir dibujos técnicos directamente a partir de piezas tridimensionales o conjuntos. Dichos dibujos están asociados a las piezas de las que provienen, de manera que si se hace un cambio en el modelo éste se producirá también en el dibujo.

Puede crear dibujos que muestren varias vistas, secciones, detalles, cotas, notas y anotaciones (Figura 3.11). También puede añadir marcos de control de operación, marcos de referencia absoluta, símbolos de soldadura y símbolos de acabado superficial a los dibujos. Resulta sencillo verificar que las cotas y anotaciones de sus dibujos se ajustan a las normas de su empresa o a las normas internacionales.

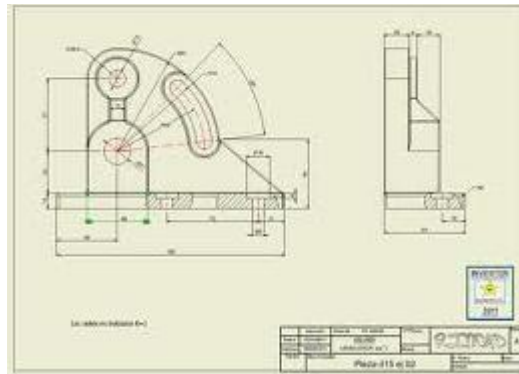


Figura 3.11. Entorno plano

3.2.3.4 Chapa (.psm)

Solid Edge permite construir modelos de piezas de chapa (Figura 3.12) debido a sus especiales requisitos a la hora de diseñarlos. El funcionamiento es similar al del modulo pieza, puesto que se parte de una operación básica a la que se le van sumando otras operaciones, como pueden ser secciones planas, pestañas, chaflanes y redondeos, etc.

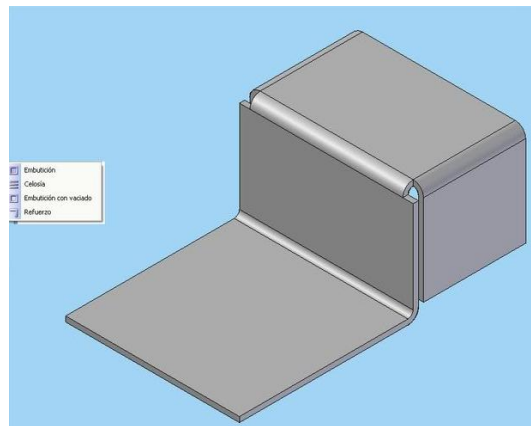


Figura 3.12. Entorno chapa

3.2.3.5 Soldadura

El entorno soldadura de Solid Edge contiene un conjunto de comandos concebidos para la construcción eficaz de soldaduras (Figura 3.13).

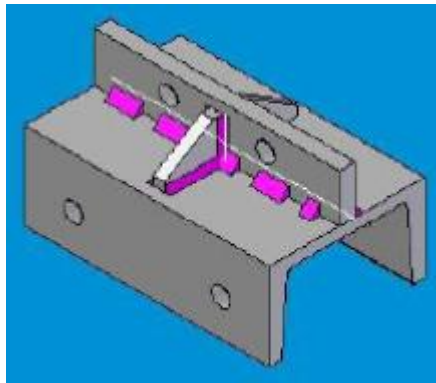


Figura 3.13. Entorno Soldadura

3.3 DISEÑO DE LAS PIEZAS DE LA SUSPENSIÓN

3.3.1 CREACIÓN DE UNA PIEZA

A continuación se describe el proceso de creación de la pieza que une la suspensión longitudinal con el bastidor (Figura 3.14), diseñada mediante el programa Solid Edge.

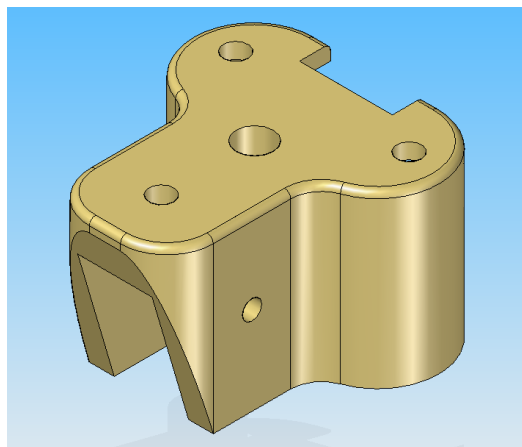


Figura 3.14. Pieza unión con bastidor

En primer lugar se hace una protusión general de la pieza, con sus medidas dándole espesor (Figura 3.15).

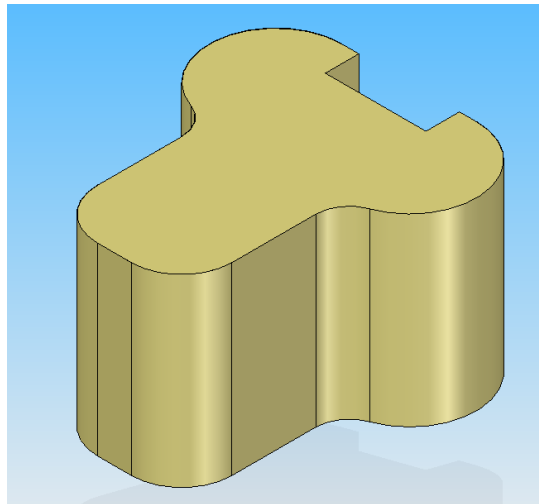


Figura 3.15. Creación pieza unión con bastidor I.

Seguidamente, se le realiza un primer vaciado desde el plano lateral, haciendo un corte inclinado (Figura 3.16).

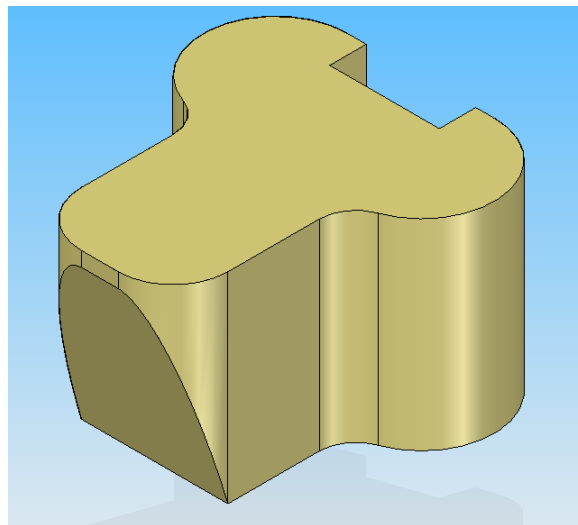


Figura 3.16. Creación pieza unión con bastidor II.

A continuación, se realizan los vaciados con los que se consigue que la pieza encaje en el brazo de la suspensión, como se pueden ver en las figuras 3.17 y 3.18.

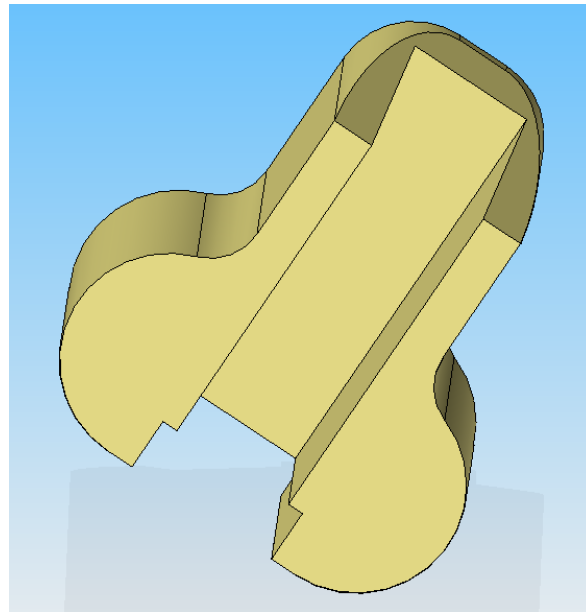


Figura 3.17. Creación pieza unión con bastidor III.

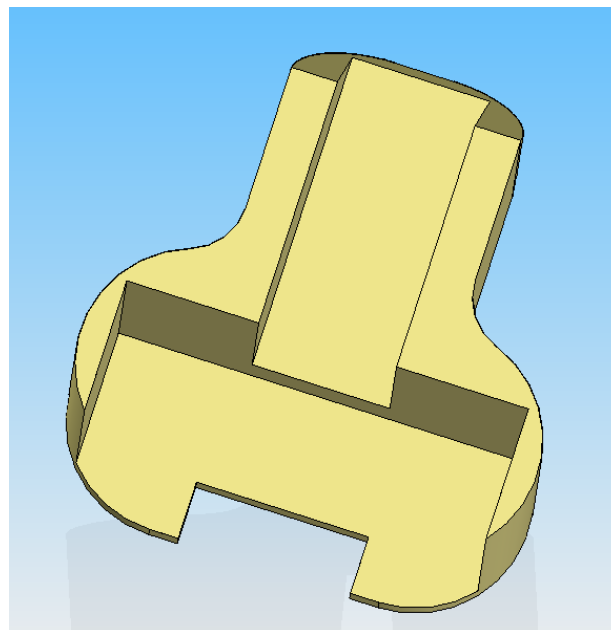


Figura 3.18. Creación pieza unión con bastidor IV.

Por último, las operaciones a realizar son los distintos taladros que permiten a los tornillos fijar a la pieza y hacer el redondeo de aristas, como se pueden ver en las figuras 3.19 y 3.20 y en la figura 3.21 se muestra el acabado de la pieza:

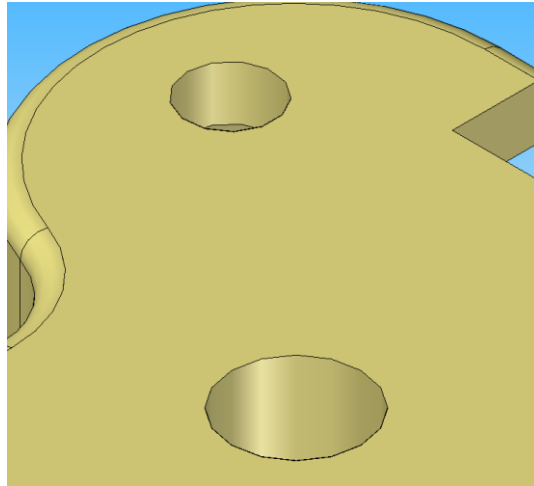


Figura 3.19. Creación pieza unión con bastidor V.

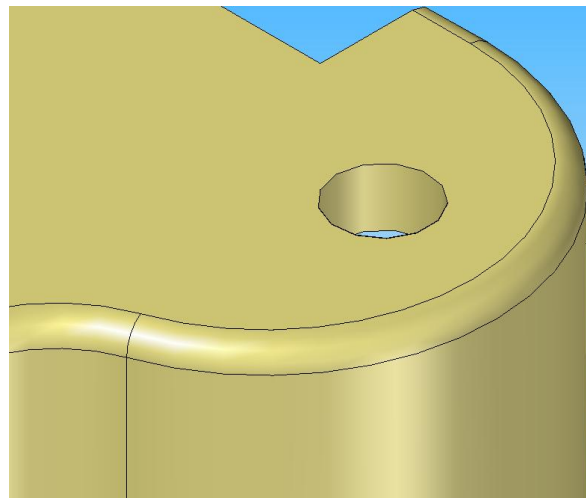


Figura 3.20. Creación pieza unión con bastidor VI.

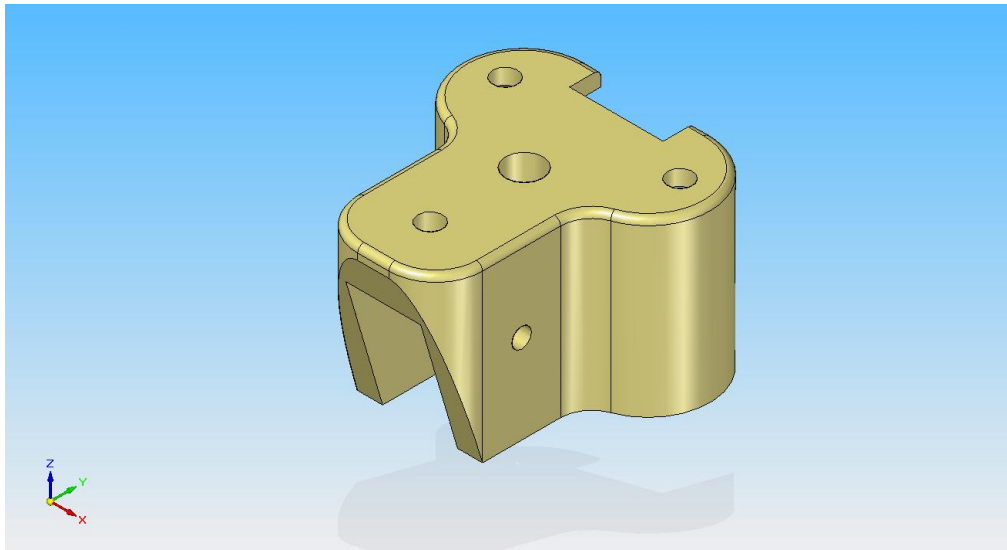


Figura 3.21. Creación pieza unión con bastidor VII.

3.3.2 PIEZAS DE LA SUSPENSIÓN

En las figuras 3.22 a 3.42 se muestran las distintas piezas diseñadas con el programa Solid Edge que componen la suspensión incluyendo, por otro lado, piezas realizadas del freno de tambor así como la llanta y el propio neumático. De este modo se muestra de una mejor manera el funcionamiento de la suspensión al paso de un resalto.



Figura 3.22. Neumático

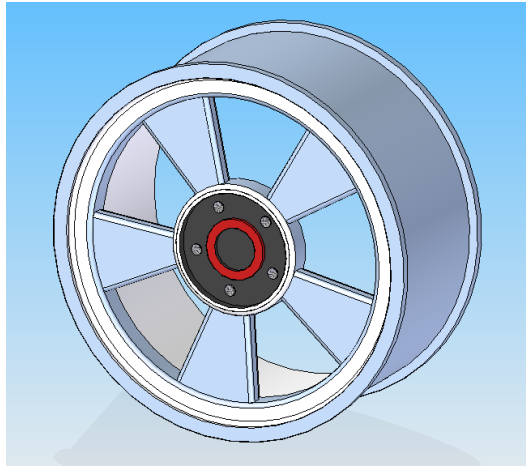


Figura 3.23. Llanta

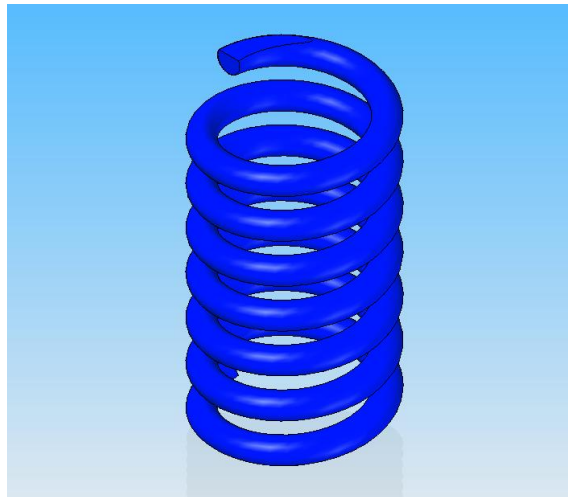


Figura 3.24. Resorte

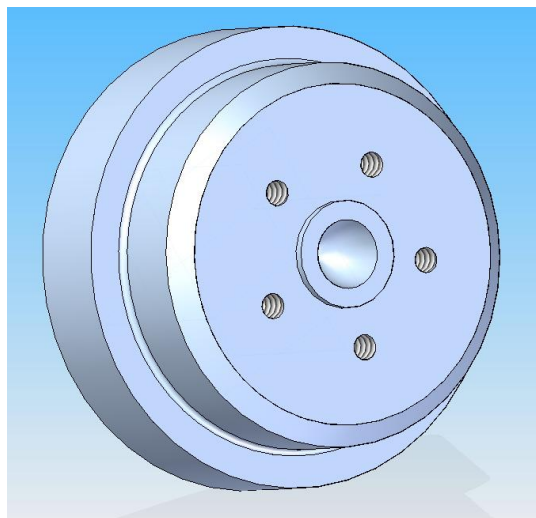


Figura 3.25. Freno tambor I

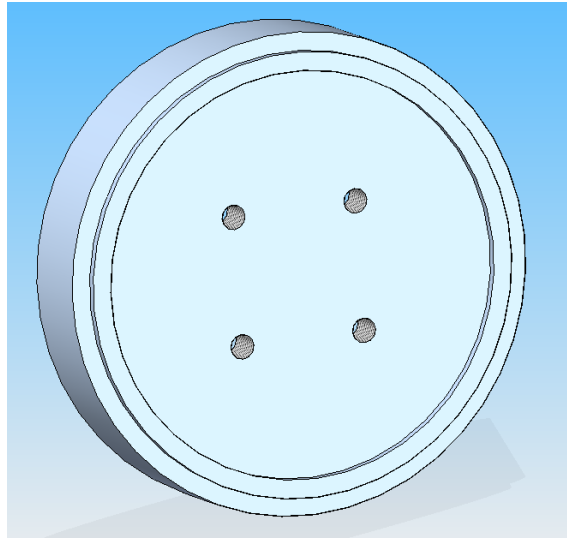


Figura 3.26. Freno tambor II

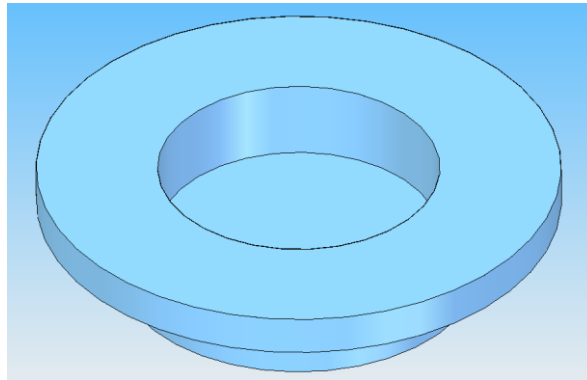


Figura 3.27. Tapa resorte

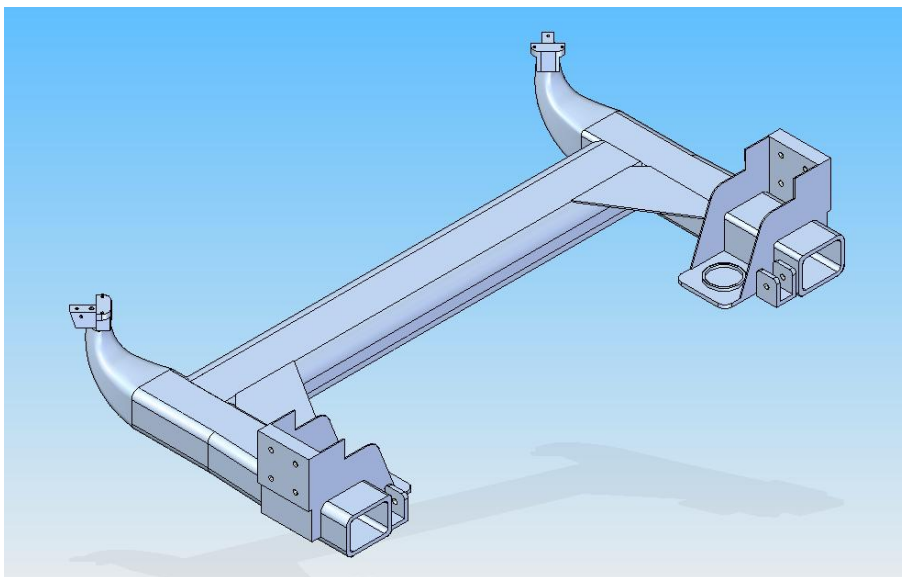


Figura 3.28. Eje torsional



Figura 3.29. Tubo interior amortiguador

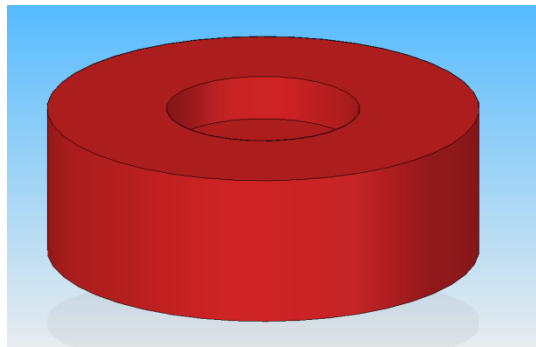


Figura 3.30. Émbolo

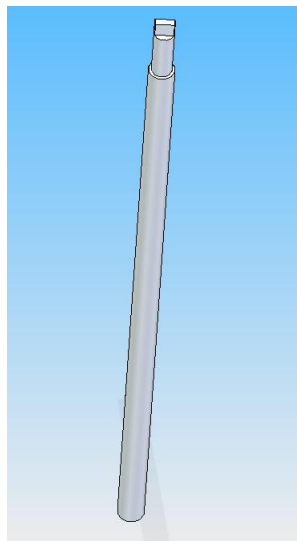


Figura 3.31. Varilla

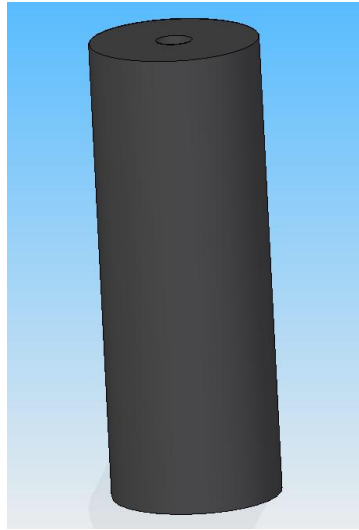


Figura 3.32. Tubo exterior amortiguador

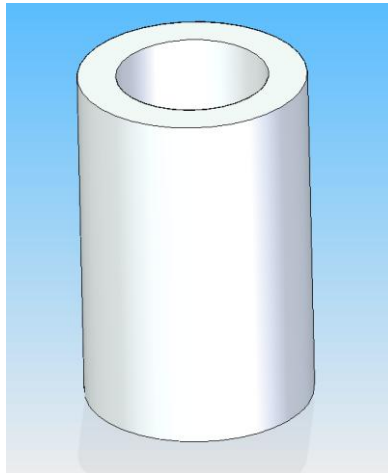


Figura 3.33. *Silentblock*

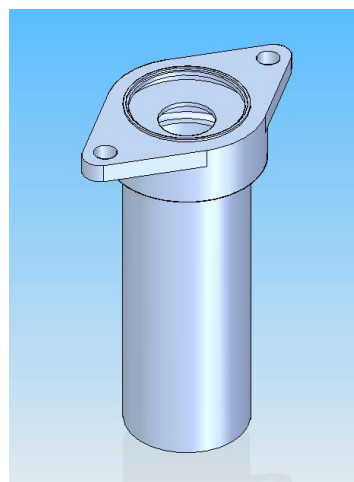


Figura 3.34. Parte superior amortiguador

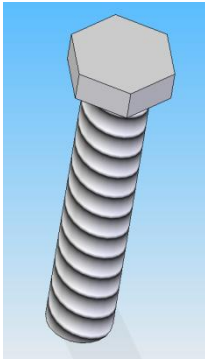


Figura 3.35. Tornillo 1

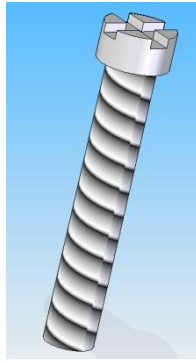


Figura 3.36. Tornillo 2

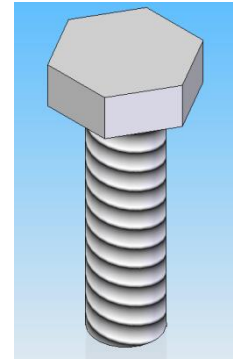


Figura 3.37. Tornillo

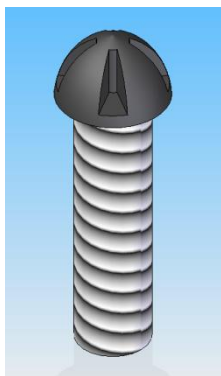


Figura 3.38. Tornillo 4

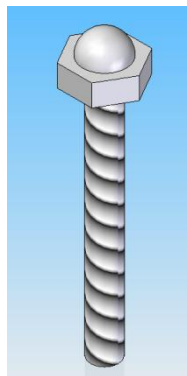


Figura 3.39. Tornillo 5

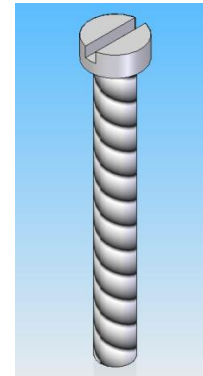


Figura 3.40. Tornillo 6

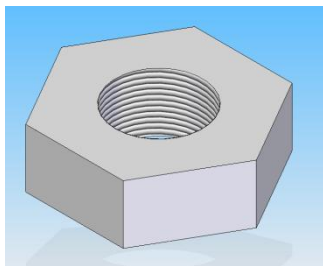


Figura 3.41. Tuerca 1

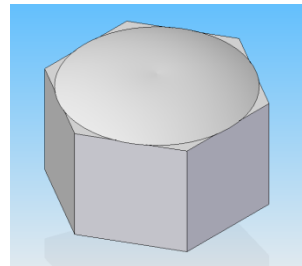


Figura 3.42. Tuerca 2

En las figuras 3.43 y 3.44 se pueden ver el conjunto formado por el neumático, llanta y freno y el conjunto amortiguador.



Figura 3.43. Conjunto neumático.

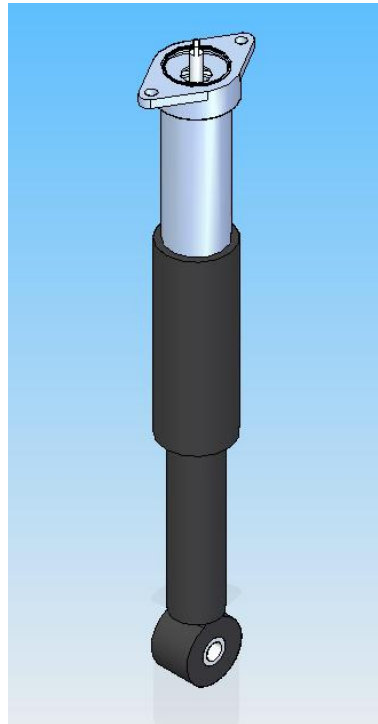


Figura 3.44. Conjunto amortiguador

En la figura 3.45 se puede ver la suspensión longitudinal que ha servido como modelo a la hora del diseño en Solid Edge. En la figura 3.46 se muestra una imagen en la que se distingue la suspensión longitudinal modelada.

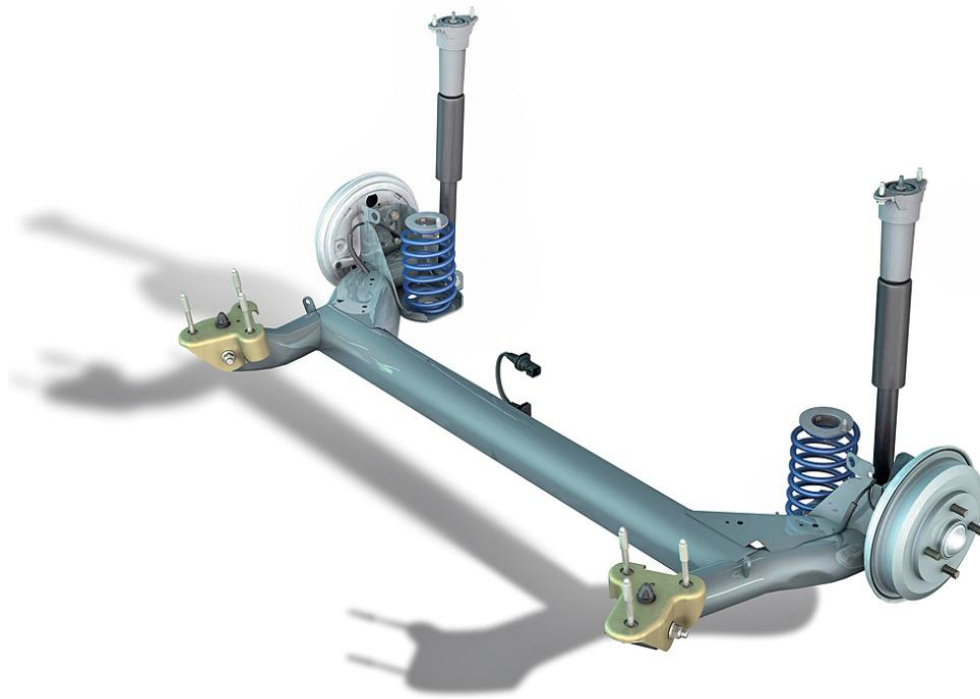


Figura 3.45. Modelo suspensión longitudinal

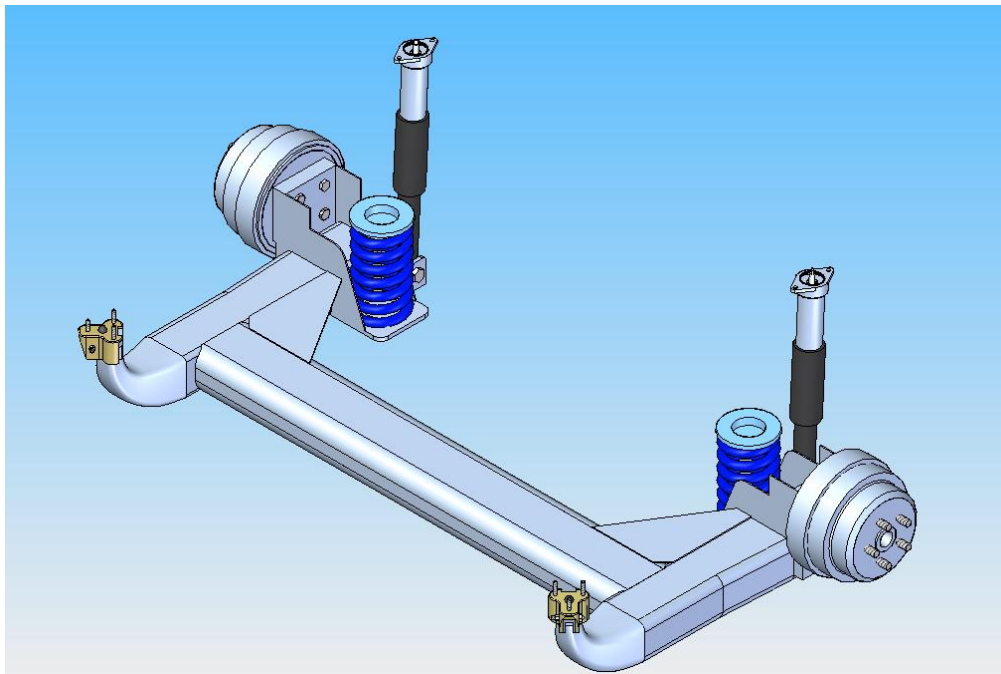


Figura 3.46. Suspensión longitudinal en Solid Edge

En las figuras 3.47 a 3.51 las se observan distintas imágenes de la suspensión longitudinal diseñada en Solid Edge.

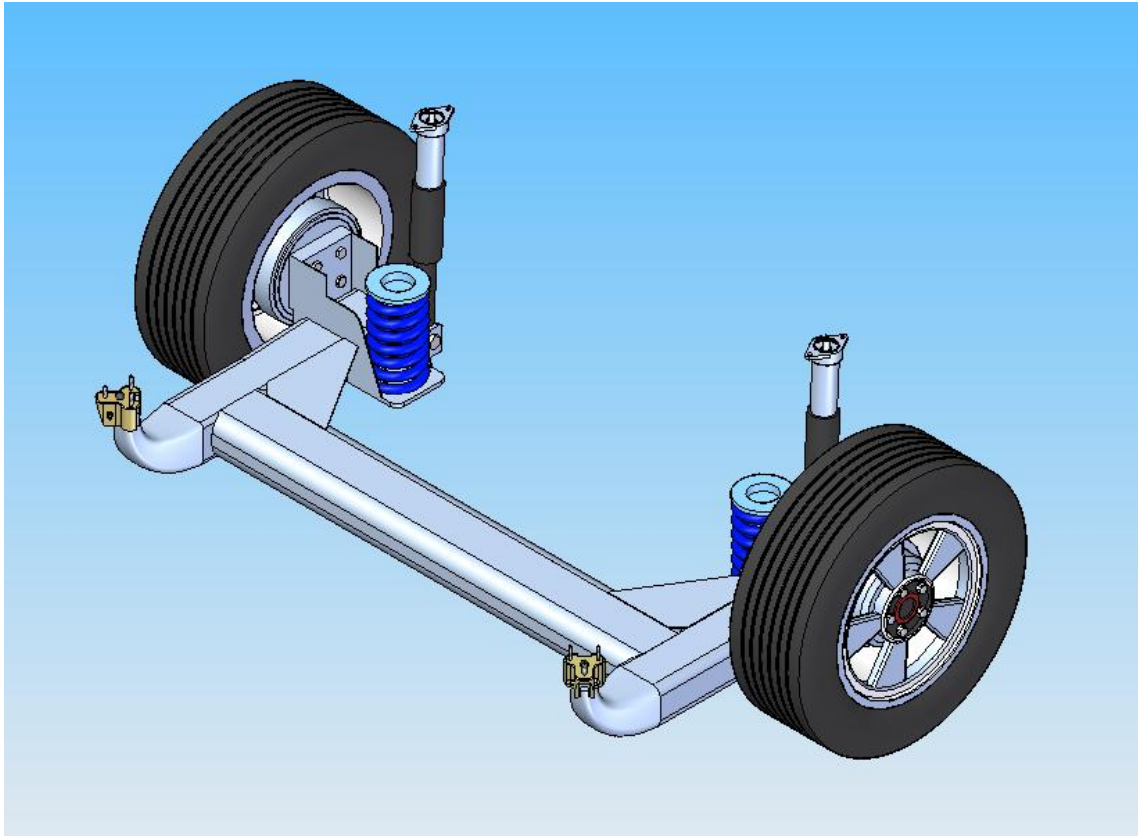


Figura 3.47. Conjunto completo. Vista isométrica

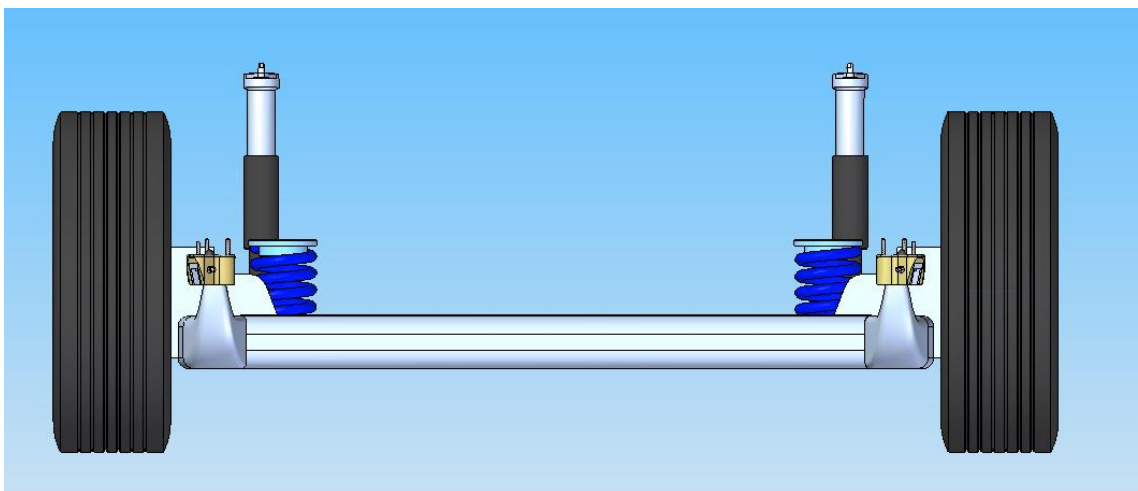


Figura 3.48. Conjunto completo. Vista frontal

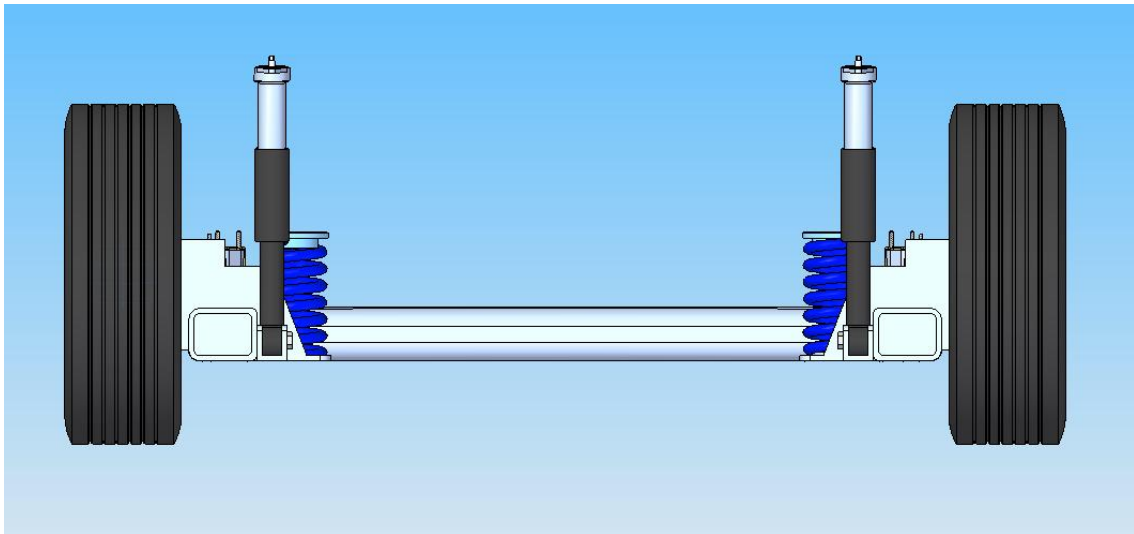


Figura 3.49. Conjunto completo. Vista posterior

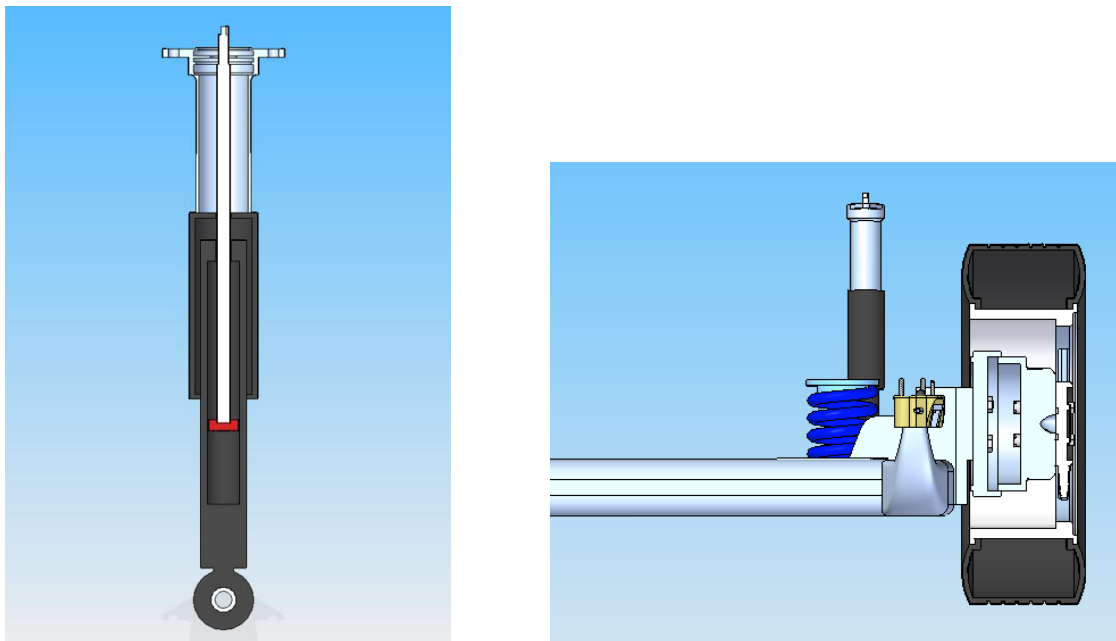


Figura 3.50. Secciones de amortiguador y neumático

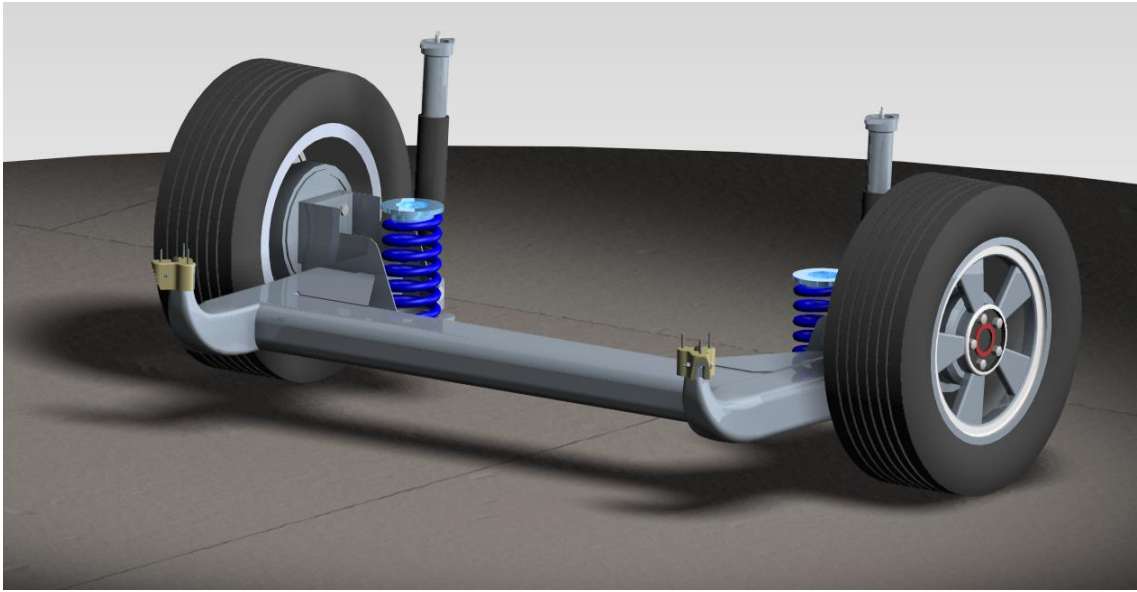


Figura 3.51. Suspensión longitudinal renderizada

CAPÍTULO 4

LA REALIDAD VIRTUAL

4.1 INTRODUCCIÓN A LA REALIDAD VIRTUAL

El constante cambio y evolución en el desarrollo tecnológico y la creciente necesidad de nuevas y mejores tecnologías provoca el desconocimiento de las nuevas herramientas que surgen para satisfacer demandas de visualización e interacción en modelos que manejan grandes cantidades de información [2][13].

El gran crecimiento del uso de los ordenadores y sobretodo de las tarjetas gráficas, ha permitido la incorporación de nuevas tecnologías de visualización y modelación como la Realidad Virtual. Dicha tecnología proporciona una óptima comprensión de fenómenos o hechos reales mediante su simulación tridimensional e interacción con equipos especializados.

La exploración en el campo de la realidad virtual se inició en el año 1968 con experimentos realizados en la Universidad de Harvard (EEUU). Allí se diseñó el primer casco, llamado *Incredible Helmet* (casco increíble), un dispositivo bastante rudimentario con dos tubos de rayos catódicos que, aunque eran bastante pequeños, eran pesados y de gran volumen.

A pesar de que las primeras exploraciones no fueron exitosas, sirvieron para comprobar que era posible llegar a una mayor evolución en un futuro. De esta manera, empresas y centros de investigación civil y militar se interesaron en su desarrollo.

En cuanto al lenguaje de realidad virtual, uno de los empleados actualmente en la red es el VRML (*Virtual Reality Modeling Language*). Su historia comenzó en 1994, con la Primera Conferencia Internacional en el *World Wide Web* realizada en Mayo de ese año.

En Mayo de 1995 se presentó VRML 1.0, un lenguaje para definir mundos virtuales estáticos con la anchura de la red. En Agosto se introdujo VRML 2.0, que era un lenguaje mucho más poderoso para definir mundos virtuales dinámicos, con animación, interacción con el usuario y scripts para programas. Posteriormente apareció VRML 97, una revisión del VRML 2.0.

4.2 TIPOS DE REALIDAD VIRTUAL

La realidad virtual tiene una serie de diferentes técnicas que poseen algunos elementos y rasgos en común. Por lo tanto, es difícil describir un modelo tipo de realidad virtual, pues se está ante sistemas con diferentes formas, distintas características, utilizan equipos tecnológicos de distinta naturaleza y están diseñados para realizar diferentes funciones [14].

A continuación se muestran más detalladamente los tres tipos que existen de realidad virtual: inmersiva, semi-inmersiva y no inmersiva.

4.2.1 REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA

El objetivo de la realidad virtual inmersiva (Figura 4.1) es conseguir que el usuario tenga la sensación de encontrarse dentro del entorno generado por el ordenador. Para esto el equipo debe estar equipado con dispositivos que puedan engañar (o estimular) el mayor número de sentidos posibles. Es imprescindible el uso de un casco de visualización estereoscópica para aislar al usuario del entorno real, aunque también se utilizan trajes, guantes y visores. Este tipo de sistemas suele ser el más adecuado para aplicaciones de entrenamiento o capacitación. A pesar de que normalmente se relaciona a la realidad virtual con este sistema de visualización, la conveniencia de su uso es puesta en cuestión por un número creciente de investigadores.

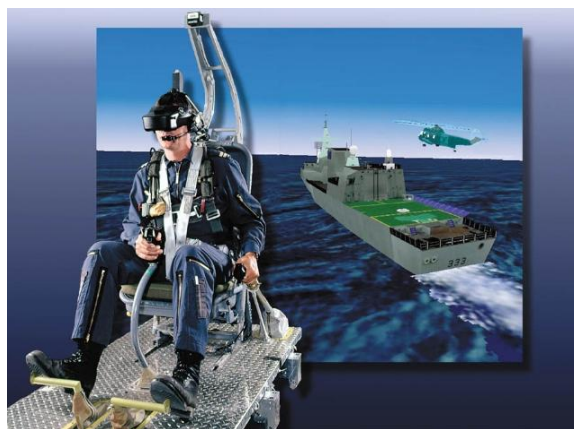


Figura 4.1. Realidad virtual inmersiva.

4.2.2 REALIDAD VIRTUAL SEMI-INMERSIVA

Se trata de sistemas que intentan proporcionar la sensación de inmersión mediante la proyección de imágenes del mundo virtual en las paredes de un espacio cerrado (o cabina) dentro del cual se encuentra el usuario. La visión lateral se intenta resolver colocando varias pantallas de proyección que se actualizan simultáneamente.

Para crear la sensación de presencia se utiliza gafas de visión estereoscópica, a las que se les puede acoplar sensores de posición y orientación. El usuario controla sus movimientos en el entorno inmaterial y en algunos casos también puede interactuar con los objetos que encuentra en él mediante el uso de un interfaz adecuado. Este tipo de sistema se adapta bien a las aplicaciones multiusuario.

Muy utilizados en presentaciones de arte virtual, demostraciones comerciales y aplicaciones educativas, así como en simuladores de vuelo y conducción.

4.2.3 REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA

Se trata de sistemas que presentan el entorno digital en la pantalla de un ordenador en los que el usuario puede interactuar y desplazarse por él. La interacción se realiza por medio del teclado, micrófono, ratón o joystick.

Son plataformas adecuadas para el diseño industrial y otras aplicaciones que requieran sistemas avanzados de visualización 3D. En la figura 4.2 se muestra como es la realidad virtual no inmersiva.

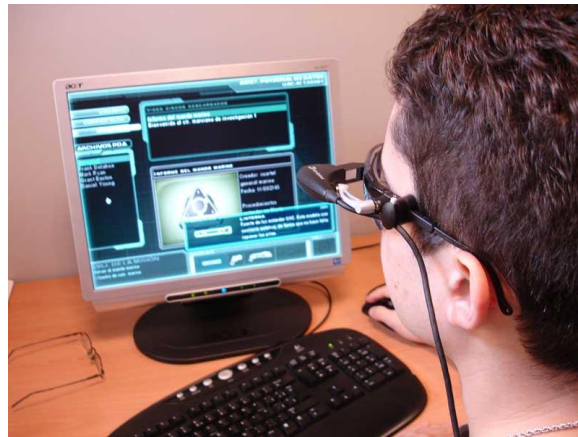


Figura 4.2. Realidad virtual no inmersiva.

4.3 DISPOSITIVOS Y EQUIPOS

En la realidad virtual existen gran variedad de equipos que sirven para introducir a la persona en el mundo imaginario. Estos equipos se pueden incluir en diferentes categorías, siendo las principales las que se indican a continuación [15].

4.3.1 VISIÓN

La realidad virtual en el área de la visión trabaja básicamente con dos tipos de implementos: cascos y *boom*, este último es un equipo que consiste en un brazo mecánico que sostiene un *display* a través del cual al girarlo se puede observar el entorno del mundo virtual en el cual se está. Como su peso es soportado por el brazo mecánico y no por el usuario, este puede ser un equipo más complejo y de más contenido electrónico, lo que produce ventajas como la obtención de una mejor solución.

Dos de los dispositivos que se utilizan para la visión en la realidad virtual son la visión estereoscópica y los binoculares:

Visión estereoscópica (Figura 4.3): Es la sensación de ver una determinada imagen en 3 dimensiones, esto se logra haciendo una representación igual para cada ojo de la imagen que se va a observar. Dichas representaciones son posteriormente proyectadas desde un mismo plano y separadas una distancia que depende a la que se encuentre el observador del plano de las imágenes.

También existen equipos de visión monocular a través de los cuales se visualizan los objetos en la forma habitual.



Figura 4.3. Casco estereoscópico

Binoculares: Estos equipos están formados por una pantalla individual para cada ojo. Para el funcionamiento de la visión estereoscópica, es necesario un equipo que tenga esta característica; para equipos de visión monoscópica esta característica es opcional. De la misma manera, hay también equipos monoculares que tienen una sola pantalla para ambos ojos.

4.3.2 AUDICIÓN

El equipo básico empleado para escuchar los sonidos propios de un ambiente virtual son los audífonos. A continuación se presentan algunas variantes:

Audífonos convencionales: Son los audífonos que se utilizan de forma más convencional. A través de ellos se escucha el sonido simulado de los objetos sin identificar auditivamente el punto de ubicación del que proviene.

Convolvotrón: Además de simular el sonido propio de los objetos, esta clase de audífonos son capaces de simular la ubicación de los mismos dentro del ambiente virtual.

Cabina de Simulación: Son grandes aparatos en los que se sumerge al usuario de forma parecida a si maniobrara un vehículo con cabina (simuladores de vuelo, submarinos, etc.).

Holofonía: Este sistema funciona mediante unos audífonos convencionales; se consigue simular la posición y la distancia de los diferentes sonidos de forma muy realista.

En la figura 4.4 se presenta un audífono utilizado para la realidad virtual.



Figura 4.4. Audífono

4.3.3 EQUIPOS DE INTERACCIÓN

La realidad virtual hace uso de guantes y vestidos como medio para interactuar. Con este fin, dichos dispositivos se comportan inicialmente como dispositivos de entrada que le permiten conocer la ubicación del usuario dentro del ambiente virtual al ordenador. Además permiten al usuario ubicarse en el medio e interactuar con él y a veces recibir ciertos estímulos donde estos dispositivos se convierten en dispositivos de salida. Algunas sensaciones o estímulos que se pueden recibir son:

- *Sensación de estar sosteniendo un objeto que se ha cogido*, gracias a unas almohadillas que se inflan en el guante y dan la sensación de percibir un peso
- *Percibir la rugosidad y forma propias de objetos*, gracias a que algunos dispositivos tienen partes de aleaciones con memoria que

tras variaciones en la temperatura toman formas que se les han practicado con anterioridad.

En la figura 4.5 se puede ver un guante virtual.



Figura 4.5. Guante virtual

4.4 APLICACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL

En un principio la realidad virtual fue usada sobretodo para aplicaciones militares o incluso de entretenimiento. A pesar de ello, en los últimos años se han diversificado las áreas en que se utiliza [16].

A continuación se comentará más detalladamente los distintos usos y aplicaciones de la realidad virtual en diferentes ámbitos de la sociedad.

4.4.1 REALIDAD VIRTUAL EN LA MEDICINA

La medicina es uno de los campos más importantes para las aplicaciones de realidad virtual. De la misma forma que la medicina cuenta con una amplia variedad de áreas de estudio, de igual manera la realidad virtual se aplica para una diversidad de disciplinas.

Existen sistemas simuladores muy potentes que permiten al médico experimentar las sensaciones de estar ante complicadas operaciones como son los cateterismos o la realización de endoscopias. Esto es de gran utilidad

para que el médico adquiriera la habilidad y destreza necesarias antes de enfrentarse a un caso real.

En la imagen 4.6 se puede ver la simulación virtual de una cirugía.

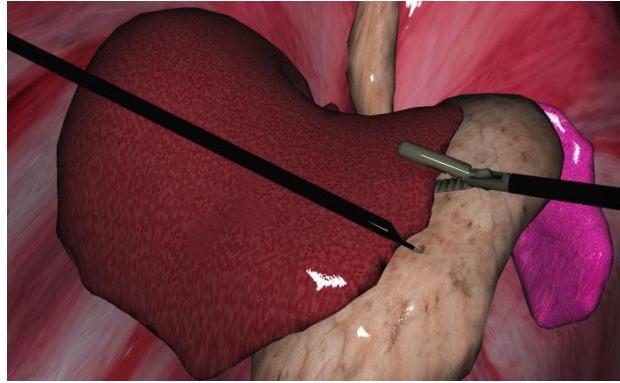


Figura 4.6. Simulación virtual de una cirugía

Por otra parte el avance de las técnicas de imagen médica y del gran proyecto *Visible Human* (*National Library of Medicine* EEUU) han permitido el desarrollo de modelos virtuales de pacientes con los cuales es posible interactuar en un ambiente virtual.

Otra aplicación de la realidad virtual en la medicina es para los pacientes en fase crónica o terminal. Dichos pacientes pueden experimentar mundos virtuales sin que se les cause fatiga alguna o estrés adicional. Se espera que un bello escenario en conjunto con viento, sonidos, olores brinde a los pacientes una relajación y sentido de bienestar.

4.4.2 REALIDAD VIRTUAL EN LA PSICOLOGÍA

El tratamiento de fobias juega un lugar muy importante dentro de la disciplina de la psicología. Cada año millones de personas acuden a psicólogos para el tratamiento de fobias: desde miedo a las alturas, a volar, a las arañas, claustrofobia, miedo a manejar, etc. La incorporación de la realidad virtual beneficia y agiliza en gran parte el proceso de superación. Los modelos virtuales (como por ejemplo modelos de elevadores, simulación de vuelos, entre otros) aumenta la confianza y seguridad del paciente, puesto que él sabe que

mientras pruebe este tipo de modelos nunca se encontrará realmente en peligro, además el paciente se siente más tranquilo al saber que al encontrarse en un ambiente virtual puede parar cuando éste lo desee. Además, el paciente puede visualizar mejor su problema y por consecuencia, el psiquiatra puede observar lo mismo que el paciente está percibiendo, llevando a un tratamiento más enfocado.

Este tipo de aplicaciones muestra un futuro promisorio para este tipo de tratamientos.

4.4.3 REALIDAD VIRTUAL EN LA FÍSICA

Dentro del área de la física existen proyectos con distintos enfoques, aquí se describe una aplicación muy común: la visualización de fluidos de partículas.

Existen proyectos que modelan este tipo de fenómenos, donde el propósito principal es el fácil análisis de una gran cantidad de datos que facilitan el estudio de los modelos. Se cuenta con una herramienta auxiliar que permite visualizar modelos complicados de interpretar si solo se analizan tal cual. Este proyecto corresponde a un tipo de realidad no inmersiva.

4.4.3 REALIDAD VIRTUAL EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Dentro del área de Ciencias de la Tierra se realizan proyectos para algunas de las áreas de aplicación, como lo es la visualización de fenómenos volcánicos.

El riesgo de potenciales erupciones volcánicas es un problema que se tiene en todo el mundo. Las simulaciones de fenómenos volcánicos permiten analizar la pérdida de vida y la destrucción de la infraestructura. Los modelos de flujos permiten estimar los movimientos de materiales volcánicos dentro y sobre la superficie. Este tipo de aplicaciones permite el entendimiento de los peligros de estos fenómenos antes de que sucedan, además, del desarrollo de mapas de riesgo, asistencia en crisis y reconstrucción post-crisis.

En la figura 4.7 que se muestra a continuación se puede ver la simulación de una erupción volcánica.

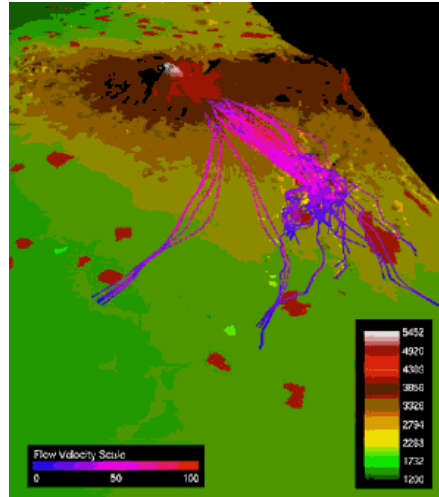


Figura 4.7. Simulación de erupción volcánica

4.4.4 REALIDAD VIRTUAL EN DEFENSA

Uno de los impulsos más fuertes al desarrollo de la realidad virtual ha sido su gran aplicación al área de defensa. Aunque no es muy fácil obtener información de las tecnologías y de las aplicaciones en defensa podemos distinguir fundamentalmente las siguientes aplicaciones: la mejora de los sistemas de simulación de vuelo y el entrenamiento militar y la incorporación de nuevas herramientas de realidad aumentada para los pilotos militares.

Los simuladores de vuelo (Figura 4.8) constituyen hoy en día una herramienta fundamental para el entrenamiento de pilotos tanto militares como comerciales. Son sistemas muy sofisticados y costosos que incorporan todo tipo de interfaces para simular la situación real dentro de un avión, así como las distintas maniobras.



Figura 4.8. Simulador de vuelo

El entrenamiento militar es también un campo de creciente aplicación existiendo sistemas para el entrenamiento para la batalla, para situaciones de emergencia, para toma de decisiones, etc.

4.4.5 REALIDAD VIRTUAL EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Los medios de comunicación y en particular la televisión, aprovechan la tecnología de realidad virtual. Se puede ver como las empresas toman ventaja de la RV para obtener mayor publicidad y están también incorporando tecnología innovadora a sus transmisiones.

Un ejemplo son los partidos de fútbol, en determinados momentos, se repiten jugadas en forma tridimensional, reconstruidas en diferentes ángulos para su análisis, con lo cual obtienen la ventaja de tener las jugadas desde diferentes perspectivas que a veces pueden pasar desapercibidas por las propias cámaras de televisión. Además, algunas veces la realidad virtual también es usada para dar publicidad a un programa de televisión, por ejemplo, en las páginas de web se ofrecen recorridos virtuales por algún programa popular.

4.4.6 REALIDAD VIRTUAL EN EL ARTE

La realidad virtual posee un papel importante en el ámbito del conocimiento, ya que es utilizada por museos, planetarios y centros de ciencia. Estos centros realizan exposiciones virtuales donde se pueden hacer recorridos

en templos antiguos, palacios, galaxias, aprender de diversas áreas de conocimiento, entre otras.

Uno de los enfoques que se le da a la realidad virtual, es el de experimentar visitas virtuales a lugares o templos antiguos que por alguna razón no están disponibles al usuario (destrucción, restauración).

Muchas veces, los museos también cuentan con exposiciones virtuales (colecciones de arte, objetos históricos, etc.) a través del web, con lo que abren la posibilidad de llevar cultura y conocimiento a personas que por alguna razón no puedan visitarlos físicamente, también amplían la percepción de otras culturas y/o formas de vida antiguas, al permitir los recorridos virtuales por lugares históricos.

En la figura 4.9 se puede ver el recorrido virtual por un museo.



Figura 4.9. Museo virtual

4.4.7 REALIDAD VIRTUAL EN LA ARQUITECTURA

La manera en que los arquitectos comunican sus ideas la mayor parte de tiempo es en forma visual, el utilizar alguna forma de visualización facilita la comprensión de información compleja y facilita la comunicación. La arquitectura es un área que rápidamente se adaptado a prototipos sencillos de realidad virtual. La navegación por futuros edificios para venta (Figura 4.10) y análisis

de los diseños ha derivado en la comercialización de herramientas específicas de diseño tridimensional para arquitectos.

La realidad virtual permite en el caso de la arquitectura poder experimentar en la etapa de diseño los espacios creados y la su adecuada adaptación al entorno. Los arquitectos, como diseñadores urbanos, no solo realizan los diseños de una casa o edificio, sino también de una ciudad o una parte de ella. En este tipo de proyectos, la visualización va un poco más lejos, se trata de planear con anticipación el crecimiento de una ciudad o una parte de ella, creando no solo edificios o avenidas con una belleza por si solas sino en armonía con la infraestructura ya existente.



Figura 4.10. Edificios virtuales

4.4.8 REALIDAD VIRTUAL EN LA INGENIERÍA

Dentro de las áreas de ingeniería hay proyectos de manipulación remota como lo son la manipulación de robots, o procesos de ensamblado, también existen áreas dedicadas al desarrollo de prototipos virtuales. Todas estas aplicaciones facilitan la automatización dentro de diferentes áreas.

4.4.8.1 Ensamblado

Cuando se tiene un proceso de ensamblado de algún producto se presentan distintos acontecimientos como puede ser las deformaciones de plástico, fricción externa, fenómeno termal, absorción, y factores como el

desgaste de herramientas, ocasionando errores de dimensión y forma. Si se tiene información adicional sobre el efecto de los parámetros antes mencionados sobre la variación en los valores de tolerancia y dimensión se puede desarrollar mecanismos para el ensamblado automático. Usando un modelo de elementos finitos se puede visualizar las fuerzas que actúan en el proceso de manufactura y la deformación del equipo bajo la acción de estas fuerzas.

Si se tiene un ingeniero en diseño y manufactura que pueda observar el ensamblado de una de las partes por medio de la computadora y dispositivos especiales, puede sugerir cambios en la tolerancia de los valores basándose en las condiciones de las máquinas, herramientas y requerimientos de diseño.

Un tipo de aplicación como ésta puede permitir obtener una configuración de ensamblado óptimo para satisfacer los requerimientos funcionales, por lo que, es un tipo de herramienta efectiva para el proceso de toma de decisiones. Este tipo de proyectos son totalmente inmersivos.

4.4.8.2 Manipulación remota de robots

Es claro que los robots dan una gran aportación a los procesos de ensamblado de la industria. El agregar la característica de manipulación desde un lugar remoto abre las posibilidades para el mejoramiento de este tipo de procesos, puesto que se puede tener un robot que realice procesos definidos y donde su manipulación sea dada desde un lugar distinto de donde se encuentra físicamente.

Las aplicaciones forman parte un nuevo enfoque del manejo de procesos y refleja las nuevas tendencias actuales, donde los lugares se vuelven más cercanos y la distancia deja de ser un factor a considerar. Éste proyecto es un tipo de realidad inmersiva.

4.4.8.3 Prototipos virtuales

Una de las áreas en las que este tipo de aplicaciones tiene gran auge es el diseño de prototipos (Figura 4.11). El diseño de prototipos es combinado con un modelado virtual de estos permitiendo al diseñador jugar un rol activo en el detallado del diseño y la optimización del proceso. Las técnicas de realidad virtual permiten generar ambientes computarizados para que el diseñador investigue y pruebe múltiples cambios a sus diseños que está realizando mientras observa y manipula objetos virtuales al usar movimientos humanos naturales.

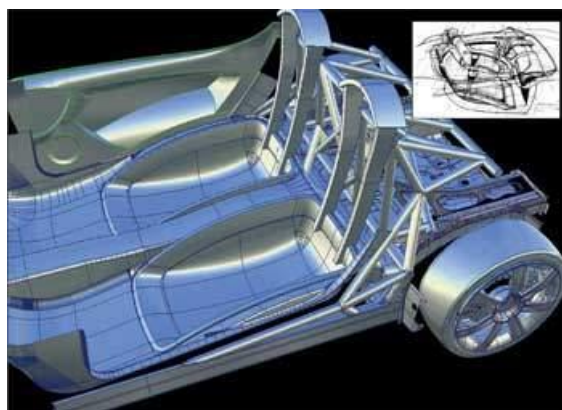


Figura 4.11. Diseño virtual de un prototipo

4.5 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA

La educación actual afronta múltiples retos. Uno de ellos es dar respuesta a los profundos cambios sociales, económicos y culturales que se prevén para la "sociedad de la información". Las nuevas tecnologías generan un enorme interés en todos los ámbitos de nuestra sociedad. Su utilización con fines educativos es un campo abierto a la reflexión y a la investigación. En este capítulo se exploran algunas de sus posibilidades, especialmente como recurso tecnológico de enseñanza-aprendizaje abierto, dinámico y flexible [17][18][19][20].

Las NTIC (Nueva Tecnologías de la Información y la Comunicación) ofrecen grandes posibilidades de estandarización y de adecuación a las necesidades individuales y de la enseñanza; es una clara alternativa a la descentralización de la formación, reducir su tiempo y costó y atender un mayor número de necesidades; condicionan nuestras vidas particulares como los profesionales, haciéndose cada vez más necesario en la sociedad actual el saber hacer un uso adecuado de las mismas.

La aparición de las NTIC en la cultura actual, así como sus fuertes perspectivas de desarrollo, han llevado a las autoridades y profesionales de la educación a realizar un análisis acerca las posibilidades de dichas tecnologías. El conocimiento y uso adecuado de dichas tecnologías puede suponer un gran avance.

Las NTIC poseen distintas características, entre las que cabe destacar su carácter innovador y su influencia más notable se establece en el cambio tecnológico y cultural, en el sentido de que están dando lugar a nuevos procesos culturales.

La llegada de las NTIC al mundo de la educación ha abierto muchas puertas y por ello el esquema tradicional del profesor que enseña y el alumno que aprende o reproduce lo que le ha enseñado el profesor no es suficiente. Se ha producido un gran cambio en el objeto de la educación.

Las características más relevantes que tienen las Nuevas Tecnologías se pueden resumir en:

- Formación individualizada. Cada alumno puede trabajar a su ritmo, por lo que no existe presión para avanzar al mismo ritmo que los demás o esconder dudas.
- Planificación del aprendizaje. De acuerdo con sus posibilidades, el estudiante define los parámetros para realizar su estudio; así se evitan los ritmos inadecuados que aburren o presionan al alumno, el perder tiempo volviendo a ver conceptos ya conocidos, el alumno determina cuanto tiempo dedica al curso, etc.

- Estructura abierta y modular. Gracias a la especial estructura de los paquetes de formación, el usuario puede escoger el módulo de enseñanza que más se acerque a sus necesidades, dejando aparte las áreas que él considere innecesarias por el momento. Estos módulos hacen manejable todo el curso y están integrados teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento humano.
- Comodidad. La enseñanza llega al alumno sin que este tenga que desplazarse o abandonar sus ocupaciones.
- Interactividad. Los nuevos medios proporcionan grandes oportunidades para la revisión, el pensamiento en profundidad y para la integración. Además, le permiten usar distintos soportes (libros, ordenador, videos) en su formación y no de forma aislada, sino combinándolos para lograr un mejor entendimiento de la materia.

La capacidad del profesor será determinante a la hora de enseñar a los alumnos a aprovechar las ventajas de las nuevas herramientas. A pesar de ello, y aunque las investigaciones sobre los efectos de las NTIC en el aprendizaje no son homogéneas, se ha comprobado que tienen algunas ventajas, como son:

- Aumento del interés en la materia objeto de estudio.
- Favorece el trabajo el grupo, así como la comunicación entre los componentes del mismo.
- Los alumnos incrementan su creatividad e imaginación.
- Se produce un aumento en la capacidad para resolver problemas.
- Se incrementa la seguridad y confianza de los alumnos en sí mismos.

- Incremento considerable de la información de la que dispondrán los profesores y alumnos, que puede ser recibida en distintos códigos.
- Ruptura de las barreras espacio-temporales y una nueva forma de construir el conocimiento, favoreciendo el trabajo colaborativo y el auto aprendizaje debido a que la información ya no se localiza en un lugar determinado.
- Logra una mayor proximidad del profesor.
- Permite la visualización de simulaciones.

Los inconvenientes que presentan el hecho de una aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en las aulas vienen dados a continuación:

- En ocasiones resulta una pérdida de tiempo.
- Provoca cansancio visual y otros problemas físicos como dolores de espalda.
- Suele ocasionar aprendizajes incompletos y superficiales.
- Suele haber dependencia de los demás.
- En ocasiones podemos obtener informaciones no fiables.
- Los diálogos suelen ser muy rígidos.
- Provoca el aislamiento.
- Suele provocar distracciones y dispersión.
- Puede ofrecer una visión parcial de la realidad.

Estas son algunas reflexiones acerca de las ventajas e inconvenientes que trae la introducción de las NTIC en la enseñanza. Es necesario la implantación de leyes que regulen y controlen los problemas surgidos como

consecuencia de la aplicación de estas novedosas tecnologías, no perder de vista lo importante que resulta ponerlas en función del hombre y no lo contrario.

4.6 REALIDAD VIRTUAL EN LA ENSEÑANZA

La realidad virtual es una tecnología especialmente adecuada para la enseñanza, debido a su facilidad para captar la atención de los estudiantes mediante su inmersión en mundos virtuales relacionados con las diferentes ramas del saber, lo cual puede ayudar en el aprendizaje de los contenidos de cualquier materia [21][22].

Con esta tecnología los estudiantes pueden aprender de manera más rápida y asimilar información de una manera más consistente que por medio del uso de herramientas de enseñanza tradicionales (pizarra, libros, etc.), ya que utilizan casi todos sus sentidos. Los estudiantes además de leer textos y ver imágenes dentro de un casco de realidad virtual, pueden escuchar narraciones, efectos de sonido y música relacionados con el tema que están aprendiendo. Por medio del uso de los guantes, los estudiantes pueden sentir la textura, dimensiones e inclusive la temperatura de objetos virtuales que existen dentro del mundo virtual.

Un importante campo de las Ciencias de la Computación denominado "Realidad Virtual" tiene importantes aplicaciones en la educación, para estimular el proceso de aprendizaje. Las aplicaciones de realidad virtual consiguen un efecto llamado "inmersión", según el cual "los estudiantes pueden interactuar completamente con el ambiente artificial utilizando los sentidos del tacto, el oído, y la vista mediante dispositivos especiales que están conectados al computador, tales como "guantes de datos" y pequeños monitores de vídeo dentro de un casco. Estos aparatos tienen sensores que detectan el movimiento de forma precisa, repercutiendo en el mundo virtual en el que los estudiantes están inmersos". Esta técnica puede trasladarse a Internet a través de VRML, lenguaje con el que se puede crear un ciberespacio con mundos virtuales; los usuarios pueden almacenar los mundos virtuales e intercambiar información en este medio, donde ellos actúan como participantes activos. Los

estudiantes pueden aprender prácticamente cualquier área del conocimiento utilizando esta tecnología.

Desde hace algunos años, universidades e instituciones de investigación de todo el mundo han estudiado la aplicación de la tecnología de realidad virtual en la educación. En uno de los primeros estudios experimentales, 59 estudiantes de bachillerato fueron evaluados en siete sesiones de usabilidad, con el objetivo de desarrollar mundos virtuales inventados por los mismos alumnos, utilizando equipo de realidad virtual de inmersión completa. Los resultados de la evaluación mostraron que los estudiantes aprendieron fácilmente y de manera motivada conceptos básicos de gráficas y realidad virtual, además de trabajar de manera coordinada y en equipo.

Dado que los estudiantes utilizan ambientes virtuales de manera presencial, en primera persona y manipulando directa y activamente los objetos virtuales, esto se sitúa dentro de la filosofía de aprendizaje del constructivismo, donde se pregona el “aprender haciendo”. De manera similar, el *construccionismo* soporta la creación por parte de los estudiantes de ambientes virtuales.

Diversos investigadores, han propuesto que la RV aplicada en ambientes de educación puede contribuir con estos factores:

- Los estudiantes exploran y analizan información utilizando sus sentidos de la vista, oído y tacto. Esto puede contribuir a acortar el tiempo de aprendizaje.
- La realidad virtual facilita la manipulación y análisis de modelos complejos y grandes, que se pueden analizar desde cualquier ángulo y punto de vista.
- La información multisensorial puede apoyar diversos estilos de aprendizaje.

- La realidad virtual puede mejorar la comprensión de información compleja y abstracta, ya que realiza reificación (mostrar de manera concreta conceptos abstractos).
- Los ambientes virtuales en línea (colaborativos) conforman un espacio de trabajo adecuado para que interactúen social y pedagógicamente alumnos, maestros e investigadores.
- Con la realidad virtual, los estudiantes pueden realizar actividades y aprender ciertos conceptos científicos más fácil y rápidamente.

La principal ventaja que ofrece VRML es la posibilidad de divulgación y la gran capacidad de integración que posee con el resto de recursos de Internet. Así, por ejemplo, si el servidor Web de una determinada facultad ofreciese la posibilidad de visitar las instalaciones del centro diseñadas como un mundo virtual en VRML, el usuario recorrería pasillos, vería tableros de anuncios, puertas de departamentos, etc., y simplemente seleccionando con el ratón, por ejemplo, un tablón de anuncios, podría visualizar, en formato de página HTML o XML, el contenido del tablón, ya que VRML permite la integración de estas páginas y de otros recursos de la red en los mundos virtuales.

En el caso de las aulas, éstas son un medio interactivo que permite a los estudiantes la inmersión en el ambiente de una clase simulada cuando vayan a realizar un curso de enseñanza asistida por ordenador. Algunos defensores de este tipo de recurso educativo llegan a afirmar, en su favor, que donde la era de la televisión ha producido gente pasiva, estudiantes desocupados con índices cortos de atención, el ciberespacio puede ser capaz de cautivarlos y fomentar el involucramiento activo en su propia educación. La existencia de laboratorios virtuales está favoreciendo esta participación activa, mediante la experimentación de fenómenos físicos y químicos, ya que los estudiantes pueden interactuar con los experimentos, incrementando así su interés.

4.7 FUTURO DE LA REALIDAD VIRTUAL

En el futuro se espera que la Realidad virtual conquiste mayores y mejores conocimientos tecnológicos. Si en los próximos años el ciberespacio se utiliza con mayor eficacia, es posible que supere en todas sus dimensiones al universo real actual. Todo ello cambiará la vida de los humanos en muchos aspectos [23].

Algunos autores de ciencia-ficción han especulado acerca de la posibilidad de áreas virtuales de entretenimiento, que se desarrollan en el tiempo en base a un urbanismo también virtual y a un mercado inmobiliario virtual.

El sistema Holodek podría ser una aplicación en el futuro. Este sistema está compuesto por un elemento en forma de habitación que permite una visión de 360 grados. En ella se podrían ver imágenes estereoscópicas para todos los usuarios y desde cualquier punto de vista, proporcionando una representación de cualquier circunstancia imaginable, que no se distinga del mundo real (Ver figura 4.12).



Figura 4.12. Sistema Holodek

Otra de las posibles aplicaciones podrían ser las edificaciones híbridas, en las que compartan espacios reales con espacios virtuales (museos) con el

fin de brindar al visitante la vivencia de obras y espacios de los cuales en la realidad no se dispone (Ver Figura 4.13).



Figura 4.13. Realidad Virtual en un museo

CAPÍTULO 5

DISEÑO VIRTUAL DE LA SUSPENSIÓN

5.1 VRML

Una vez realizado el diseño de la suspensión longitudinal mediante el programa Solid Edge, el proceso que le sigue es el de la simulación con VRML, con el fin de visualizar el comportamiento de dicha suspensión ante una irregularidad del terreno.

VRML es un acrónimo de *Virtual Reality Modeling Language* (Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual). Se puede definir el VRML como un lenguaje cuyo fin es el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual en Internet, formando mundos virtuales compuestos de un espacio, generalmente tridimensional, en el cual los objetos que en él se encuentran son interactivos. Dentro de dichos mundos virtuales el usuario podrá elegir entre varias perspectivas, e interactuar con los objetos que allí se encuentran. El VRML cada vez es más accesible para el usuario medio, quién puede disponer de mejores equipos multimedia a precios asequibles [24].

Open Inventor fue el predecesor del VRML. Fue desarrollado para crear un lenguaje gráfico con múltiples capacidades. Open Inventor se diseñó por SGI, para que los programadores pudieran elaborar ambientes realistas en tercera dimensión con un mínimo de conocimientos sobre programación en gráficas también pueden aprovechar sus características avanzadas. Los desarrolladores de Open Inventor tomaron los mejores componentes de los lenguajes gráficos existentes en aquella época y los sintetizaron en un solo conjunto que, a pesar de tener una gran capacidad expresiva y flexibilidad, resultaba fácil de aprender y entender.

Sin embargo, Open Inventor no es idéntico al VRML. Este último cuenta con ciertas características que lo hacen compatibles con el Word Wide Web y ha mejorado algunas de las opciones originadas con Open Inventor, pero aún así necesitaba mayor flexibilidad. Es por eso que Gavin Bell, uno de los desarrolladores de Open Inventor SGI, es también uno de los principales Arquitectos del VRML. Gavin volcó su experiencia en el diseño del VRML y en

las modificaciones de su antecesor, al eliminar algunas características poco útiles y agregar otros factores necesarios para el manejo del Web.

La especificación original de este lenguaje, denominada VRML 1.0, data de octubre de 1994, y se basaba en un producto de la Compañía Silicon Graphics. En 1994 nació el *VRML Architecture Group* (VAG), para ayudar en la clarificación e implementación de la especificación inicial de este nuevo lenguaje. Posteriormente, dicho organismo se ha sustituido por el *VRML Consortium*, entre cuyos miembros se encuentran Netscape, Microsoft, IBM o Silicon Graphics.

Posteriormente a la primera versión, se observó que los mundos estáticos no eran suficientes y que hacía falta que los objetos tuviesen comportamientos propios para que el usuario pudiese interactuar con ellos. Debido a esto, en 1995 el VAG solicitó propuestas de modificaciones de la especificación VRML que permitiesen lograr dichos objetivos. En 1996, la propuesta denominada *Moving Worlds* presentada por Silicon Graphics fue ratificada por el VAG como la especificación oficial VRML 2.0.

En la figura 5.1 se puede ver una imagen desarrollada en el entorno VRML 2.0.



Figura 5.1. Reconstrucción de una villa romana creada en VRML

Con el fin de conseguir un óptimo aprovechamiento de la tecnología VRML los requerimientos técnicos son cada vez más sencillos gracias al avance de sus desarrolladores y a la evolución de los usuarios.

Seguidamente se muestran los distintos requerimientos que cumple el entorno VRML:

- Permite desarrollar programas y entornos de programación capaces de crear, generar, modificar y mantener ficheros que contengan representaciones en VRML. También se pueden desarrollar aplicaciones que traduzcan “mundos” generados en otros entornos.
- Se pueden reutilizar diseños generados; es decir, que un objeto se puede utilizar en diseños posteriores.
- Se pueden definir nuevos tipos de objetos no incluidos como estándar.
- Los mundos tridimensionales se pueden modificar de forma dinámica en el tiempo de ejecución.
- Los objetos que forman parte de un mundo virtual pueden encontrarse en diferentes ficheros.
- El lenguaje VRML permite generar mundos virtuales interactivos donde cada fichero que contiene código VRML, se puede ver como un fichero que:
 - Establece un sistema de coordenadas espaciales en las que se definen los diferentes objetos.
 - Puede contener enlaces a otros ficheros y aplicaciones.
 - Puede contener definiciones de un conjunto de objetos tridimensionales o de objetos multimedia como sonido, imágenes y vídeo, relacionadas entre sí.
- Para generar el fichero sólo hace falta un editor de textos, ya que el mundo virtual se realiza mediante la edición de nodos.

5.2 UTILIZACIÓN DE VRML

5.2.1 HERRAMIENTAS NECESARIAS EN VRML

Para el uso y manejo de archivos en el entorno de VRML son necesarios un visualizador o navegador y un editor [3][25][26]:

Visualizador

La visualización de ficheros VRML se puede realizar mediante dos tipos de aplicaciones diferentes:

- Mediante visualizadores VRML específicos.
- Mediante *plug-ins* instalados en visualizadores HTML.

La segunda de las opciones es la más común, ya sea a través de *plug-ins* que incorpore el navegador o utilizando alguna aplicación shareware a través de internet. Una vez obtenido el programa, se ejecuta, instalándose automáticamente dentro del navegador.

Editor

Permite crear objetos y mundos virtuales. Para la creación de archivos en VRML se puede utilizar un editor de texto y guardar el archivo con extensión *.wrl* para que lo reconozca el visualizador, o bien utilizar algún programa específico para VRML.

5.2.2 PROGRAMACIÓN EN VRML

En este punto se describe la normativa, estructuras, comandos y procesos para la creación de los mundos virtuales en el lenguaje VRML [23].

En primer lugar, se deben tener en cuenta las siguientes pautas para crear los programas:

- VRML es sensible a mayúsculas y minúsculas, lo cual ha de ser tenido en cuenta a la hora de asignar nombres.

- Todos los nodos han de comenzar siempre con letra mayúscula.
- Los campos de los nodos deben comenzar siempre con letra minúscula.
- Los números se escriben en punto flotante.
- Utilizar una línea distinta para cada nodo, para cada campo y para cada valor en cada campo.
- Indentar cada línea, según su jerarquía.
- Colocar cada símbolo del cierre en el nivel de indentación que le corresponda.
- Poner las líneas de comentario necesarias al mismo nivel que lo que se comenta.
- Poner nombres propios a los nodos.

El programa debe tener una estructura, formada por cabecera, comentarios y nodos:

Cabecera

La cabecera de un programa VRML siempre es la misma:

#VRML V2.0 utf8

donde VRML V2.0 indica el estándar empleado y utf8 autoriza el uso de caracteres internacionales.

Es importante destacar que no debe existir ningún espacio en blanco entre el símbolo "#" y la palabra "VRML".

Comentarios

En VRML, los comentarios se escriben en una sola línea, la cual comienza con el símbolo "#". Se pueden utilizar las líneas de comentarios que se deseen.

Nodos

Un nodo es la estructura mínima indivisible de un fichero VRML y su misión es definir las características de un objeto, o bien, las relaciones entre distintos objetos. La mayoría de los nodos pueden repetirse tantas veces como sea necesario en una escena, salvo una serie de nodos especiales como los que definen la niebla o la panorámica del mundo virtual, que aparecen una sola vez.

5.2.2.1 Agrupación de nodos

Con el fin de conseguir formas complejas es necesario agrupar distintos nodos. Esto se puede realizar mediante los nodos *Group*, *Transform* y *Billboard* que se exponen seguidamente:

Nodo *Group*

Permite unir un conjunto de nodos de manera que actúen como una entidad única, pero sin efectuar ninguna transformación en ellos. La principal característica de este tipo de grupo es que los objetos son creados todos en el mismo punto. El nodo *Group* se utiliza de la siguiente manera:

```
Group {  
    Children [...]  
}
```

Nodo *Transform*

Por defecto todos los objetos (*Shapes*) se construyen en el centro del escenario virtual. El nodo *Transform* permite evitar esto, indicando la posición, orientación y tamaño de los diferentes objetos que va a crear. Se utiliza de la siguiente forma:

```
Transform{  
  
  translation Eje X Eje Y Eje Z  
  
  rotation Eje X Eje Y Eje Z  
  
  scale Eje X Eje Y Eje Z  
  
  children[...]  
  
}
```

El campo *rotation* permite girar el sistema de coordenadas del grupo alrededor de uno de los ejes del sistema de coordenadas del nodo padre. Es necesario indicar sobre qué eje se desea realizar el giro además de hacer referencia al grado de inclinación de dicho giro (en radianes).

El campo *translation* sirve para indicar la posición del origen del nuevo sistema de coordenadas perteneciente al grupo dentro del sistema de coordenadas de nodo que lo engloba (nodo padre).

Mediante el campo *scale* se pueden hacer variaciones en los objetos al modificar el tamaño de los ejes del sistema de coordenadas tomando como referencia los ejes del nodo padre.

Nodo *Billboard*

Permite crear un grupo con un sistema de coordenadas especiales, ya que a través del campo *axisOfRotation* (eje de rotación) se indica el eje sobre el que ha de girar el objeto, de forma que, siempre esté de cara al espectador. La estructura que sigue se muestra a continuación:

```
Billboard{  
  
  axisOfRotation Eje X Eje Y Eje Z  
  
  children[...]  
  
}
```

5.2.2.2 Appearance y Material

El campo *appearance* va a permitir seleccionar el color y la textura del objeto que va a ser representado dentro del escenario virtual.

El nodo *Material* es el que controla las propiedades del color (selección del color, brillo, grado de transparencia, etc.) que se van a dar al objeto. Los colores son colores RGB (rojo, verde y azul), como se pueden ver en la figura 5.2. El valor 0.0 representa la ausencia de color y el valor 1.0 representa la máxima intensidad.

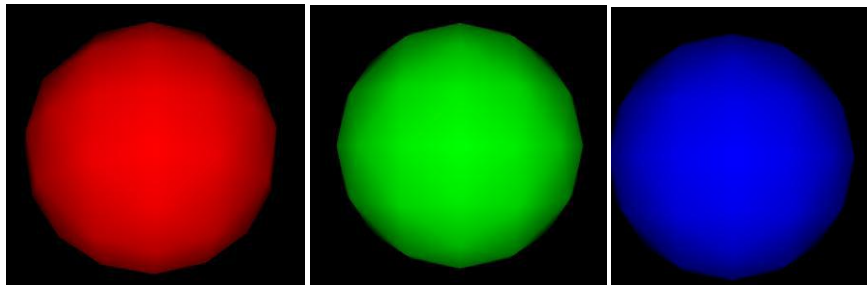


Figura 5.2. Colores RGB

La estructura que sigue el campo *appearance* es la siguiente:

```
appearance Appearance {  
    material Material {  
        diffuseColor    []  
    }  
}
```

5.2.2.3 Fondos y suelos

En la creación de los mundos virtuales aparece un fondo por defecto. Esto se puede modificar mediante la utilización de suelo y fondo, lo que aporta realismo a la escena. Los fondos se caracterizan por dar al visitante la sensación de que se encuentran a gran distancia.

El nodo *Background* incorpora un plano de suelo sombreado, texturas y cielo escénico. Se utiliza de la siguiente forma:

```
Background{  
  
    groundAngle      [ ]  
  
    groundColor     [ ]  
  
    skyAngle         [ ]  
  
    skyColor         [ ]  
  
    backUrl "dirección_URL"  
  
    bottomUrl      "dirección_URL"  
  
    frontUrl "dirección_URL"  
  
    leftUrl  "dirección_URL"  
  
    rightUrl "dirección_URL"  
  
    topUrl"dirección_URL"  
  
}
```

5.2.2.4 Iluminación

Para conseguir un mayor realismo en el mundo virtual, la colocación de luces puede ser de gran ayuda, ya que permite obtener distintas sensaciones de un lugar (de cálido a frío y sombrío) en función de su colocación, intensidad, etc. Además de la ambientación, también es importante a la hora de la visualización de los objetos, para que esta sea de mayor claridad.

Para todo esto existen distintas clases de fuente de iluminación: nodo *PointLight*, nodo *DirectionalLight* y nodo *SpotLight* y sus estructuras son:

DirectionalLigth{

```
ambientIntensity    []  
color              []  
intensity         []  
direction         []  
  
}
```

PointLigth{

```
location           []  
radius             []  
ambientIntensity  []  
color              []  
intensity         []  
attenuation       []  
  
}
```

SpotLigth{

```
location           []  
radius             []  
ambientIntensity  []  
color              []  
intensity         []  
attenuation       []  
direction         []  
  
}
```

5.2.2.5 *Inline*

En numerosas ocasiones será necesario almacenar cada objeto en su propio fichero, con el fin de poder utilizar varios de ellos para formar uno mayor. Por ejemplo, si se quiere modelar una clase, se utilizarán sillas, mesas, pizarra, puertas, paredes, etc. Todos ellos son objetos independientes pero que se engloban para obtener uno mayor.

Para hacer la llamada a cada objeto es necesaria la dirección URL de cada uno de ellos. La estructura a seguir es la que se muestra:

```
Inline{  
  
url"dirección_url"  
  
}
```

5.2.2.6 Sensor de tiempo

VRML posee una herramienta muy potente, el sensor de tiempo (*TimeSensor*). Dicho sensor se puede usar con el fin de aprovechar el paso del tiempo como motor para mover objetos, variar orientaciones, cambiar color de los mismos, etc. El reloj está basado en el reloj real del sistema, midiendo el tiempo en segundos transcurridos desde las 00:00 horas del 1 de Enero de 1970.

Los campos más característicos que se pueden encontrar son el *cycleInterval* (movimiento de objetos) y *loop* (para repetir). La estructura que utiliza es la siguiente:

```
TimeSensor {  
  exposedField STime cycleInterval 1 #(0,∞)  
  exposedField SBool enabled TRUE  
  exposedField SBool loop FALSE  
  exposedField STime startTime 0 #(0,∞)  
  exposedField STime stopTime 0 #(0,∞)  
  eventOut STime cycleTime  
  eventOut SFloat fraction_changed #[0,1]  
  eventOut STime isActive  
  eventOut STime time  
}
```

5.2.2.7 Sensor de tacto

La función del sensor de tacto es detectar un objeto que sobre el que el observador ha colocado el ratón y ha presionado el botón. Por lo tanto permite definir “botones 3D”.

Este sensor tiene que estar agrupado junto con otros objetos que servirán de botón, dentro de algún nodo de agrupación, para que VRML sepa que objetos están activos cuando el usuario pulse el botón.

5.2.2.8 Interpolador

La interpolación lineal (que es la que utiliza VRML97) es un concepto matemático que permite definir dos puntos (en cualquier dimensión) y calcular un punto intermedio sobre la recta que los une a partir de especificar el tanto por ciento del recorrido entre los dos puntos.

Los campos más importantes son *key* y *keyvalue*, el primero indica los estados por los que va a pasar el elemento y el segundo el valor que va a alcanzar la variable en cada uno de estos estados.

En VRML se encuentran 6 clases de interpolación, los cuales son:

- *ColorInterpolator*: Interpola colores.
- *CoordinateInterpolator*: Interpola coordenadas de vértices.
- *NormalInterpolator*: Interpola normales a superficies.
- *OrientationInterpolator*: Interpola ángulos de rotación.
- *PositionInterpolator*: Interpola posición de objetos.
- *ScalarInterpolator*: Interpola valores cualesquiera escalares.

Para la realización de este proyecto los interpoladores que se han utilizado han sido *OrientationInterpolator* y *PositionInterpolator*.

5.2.2.9 Puntos de vista

En VRML existe la posibilidad de definir puntos de vista diversos de forma que se puede mostrar al usuario aquellas partes que parecen importantes del mundo virtual que se ha definido. El usuario puede continuar navegando con total libertad, pero si se definen una serie de puntos de interés, se pueden utilizar éstos directamente.

La forma de definir estos puntos de vista o puntos de interés, es mediante el nodo *Viewpoint*.

Si se quiere elegir otro punto de vista, se usa la utilidad que el browser normalmente tiene disponible. El primero que se define en el código, pasa a ser el punto de vista de arranque del mundo. (También es usual poder pasar de un punto de vista a otro con las teclas de avanzar y retroceder página del teclado).

La visión que viene por defecto es aquella en la que el observador se encuentra sobre el eje **Z** positivo a 10 unidades del origen y mirando en dirección del eje **Z** negativo.

La estructura del nodo *Viewpoint* es la siguiente:


```
Viewpoint{  
  
    position      []  
  
    orientation   []  
  
    description   []  
  
}
```

5.2.2.10 DEF y ROUTE

Para definir un objeto que se utiliza en repetidas ocasiones y se satura el código por repetir varias veces un mismo bloque de código, entonces se puede utilizar DEF. DEF permite dar nombre a un cierto nodo que posteriormente se utilizará con la misma estructura y en diversos sitios.

La función que tiene el comando ROUTE es la de unir varios nodos.

5.3 CREACIÓN DEL MUNDO VIRTUAL

En este punto del proyecto se va a describir cómo se ha realizado el ensamblado de las piezas que componen la suspensión en el mundo virtual, además del proceso de simulación de movimiento del mismo [16][27].

Con este fin, se han dividido en varios grupos o conjuntos separados para aislar los grupos de piezas entre las que no existe movimiento relativo entre sí, para hacer más sencillo su ensamble y animación.

5.3.1 INTRODUCCIÓN DE PIEZAS

En el inicio de la programación se crea el espacio en el que se va a trabajar. El código que se debe poner previo a la definición de las piezas y que crea el mundo virtual lo proporcionan por defecto los archivos *.wrl* que se obtienen directamente desde Solid Edge. La estructura que se sigue se muestra a continuación:

```
#VRML V2.0 utf8 Solid Edge VRML Export V1.2

Group {
  children [

    WorldInfo {title "PROYECTO FIN DE CARRERA DE JAVIER FERNANDEZ VALVERDE."

#####PUNTOS DE VISTA #####

    DEF Diagonal Viewpoint {
      position 20 2 -20
      orientation 0 1 0 2.0944#girada en eje y 120 grados
      fieldOfView0.8
      description "Diagonal"
    }
  ]
}

DEF Frontal Viewpoint {
  position -8 -0 40
  orientation 0 1 0 0
  fieldOfView0.8
  description "Frontal"
}

DEF Lateral Viewpoint {
  position 40 1.2 0
  orientation 0 1 0 1.57 #girada en y 90 grados
  fieldOfView0.5
  description "Lateral"
}
```

```
DirectionalLight {  
    ambientIntensity 0.4  
    color 1 1 1  
    intensity 0.3  
    direction -0.5 -0.5 0  
}  
  
NavigationInfo {  
    type [ "EXAMINE","ANY" ]  
    headlight TRUE  
}  
  
Background {  
    skyAngle [ 0.384, 0.785, 1.047,1.309,1.484,1.5708]  
    skyColor [ 0 0 0.2, 0 0 1, 0 1 1, 0.75 0.75 1, 0.8 0.8 0, 0.8 0.6 0, 1 0.4 0 ]  
    groundAngle [ 1.5708]  
    groundColor [ 0 0 0, 0 0 0 ]  
}
```

Para introducir cada una de los conjuntos en el mundo virtual, para ello se utiliza el comando *Inline*. Con este comando se usan las piezas ya creadas en VRML que han sido exportadas desde Solid Edge. La introducción en el mundo virtual por medio de la secuencia de comandos que aparece a continuación:

```
DEF BARRATORSIONAL Transform {  
    rotation 1 0 0 -1.5708  
    scale 10 10 10  
    children [  
        Inline { url "Barratorsional.wrl" }  
    ]  
}
```

Este código sirve para ir introduciendo cada uno de los subconjuntos que componen la suspensión. A medida que se va implantando cada una de las piezas, se deben colocar según la posición que ocupa en el conjunto global de la suspensión.

Las piezas que necesiten ser trasladadas desde el origen de coordenadas, lo harán mediante la utilización del nodo *Transform*. Con él, se trasladan (*translation*), se rotan (*rotation*) o se escalan (*scale*) las piezas. La utilización de dicho nodo se muestra seguidamente:

```
DEF RUEDADCHA Transform {  
    translation -1.69 0 0  
    rotation 0 0 1 3.14  
    children [  
        Inline { url "Neumatico_llanta_tambor.wrl" }  
    ] } ] }
```

Como ya se ha explicado anteriormente, las piezas se han colocado en grupos o conjuntos entre los que no existe movimiento relativo.

Desde la figura 5.3 hasta la figura 5.9 se presentan todos los grupos utilizados.

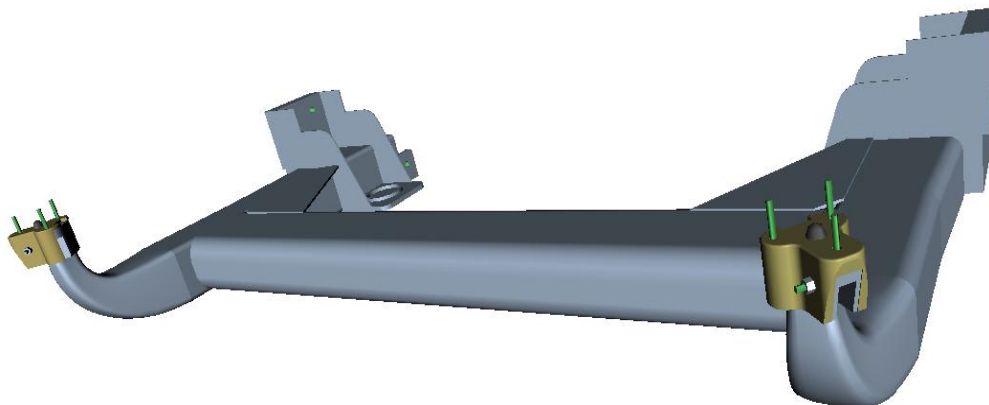


Figura 5.3. Barra torsional I

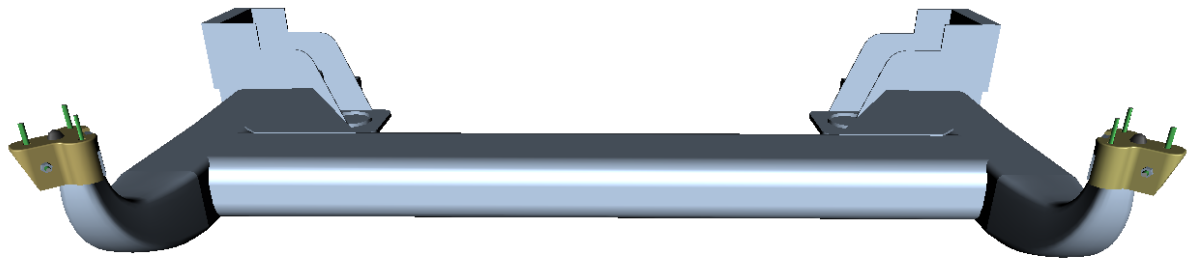


Figura 5.4. Barra torsional II

El freno, neumático y llanta forman un conjunto, al no tener movimiento relativo entre ellos. El resorte y la tapa forman otro conjunto ya que ambos realizan el mismo movimiento con respecto a la barra torsional y bastidor.

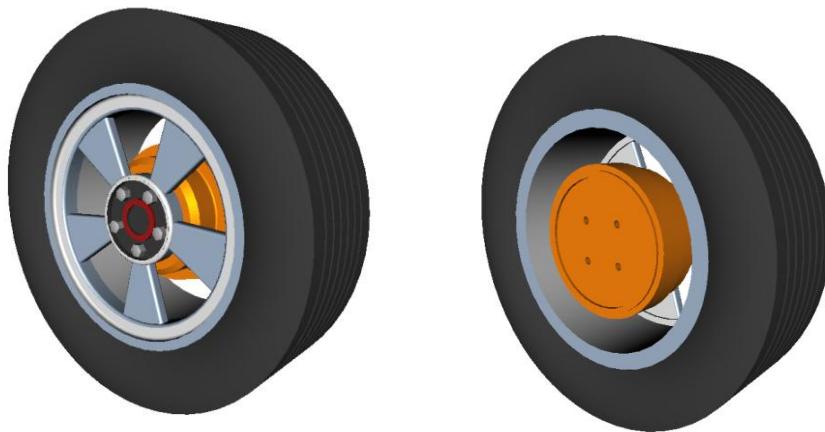


Figura 5.5. Neumático y freno de tambor

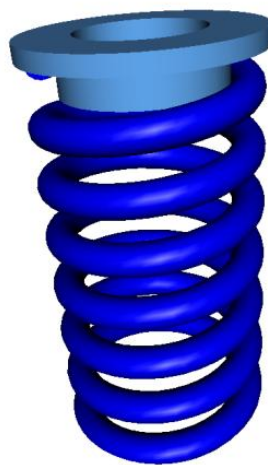


Figura 5.6. Resorte y tapa

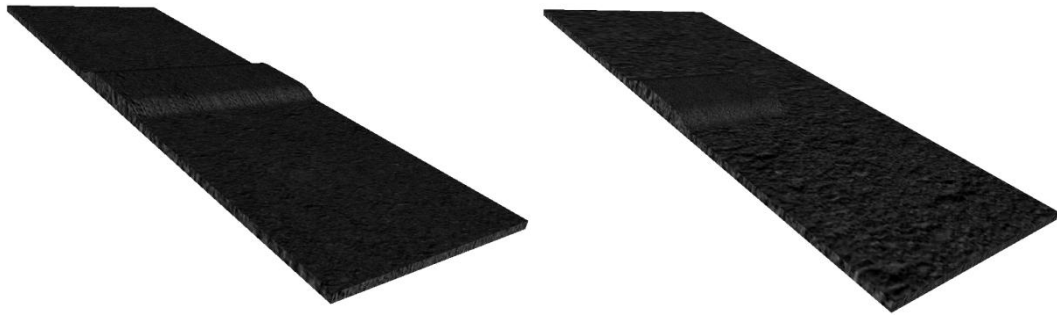


Figura 5.7. Carretera con badén completo y con medio badén

El amortiguador se ha dividido en dos partes, puesto que es para poder realizar los movimientos de compresión y expansión.



Figura 5.8. Parte inferior del amortiguador



Figura 5.9. Parte superior del amortiguador

En las figuras 5.10 y 5.11 se muestran el conjunto total de la suspensión cuando está superando el badén completo y el medio badén respectivamente.

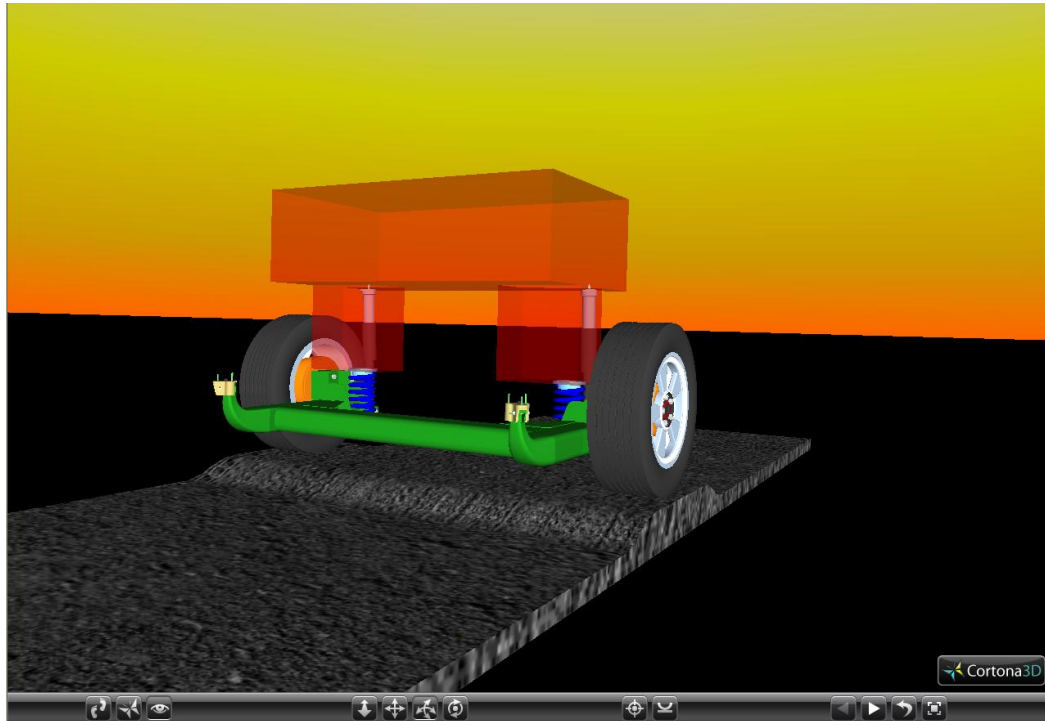


Figura 5.10. Conjunto total en badén completo

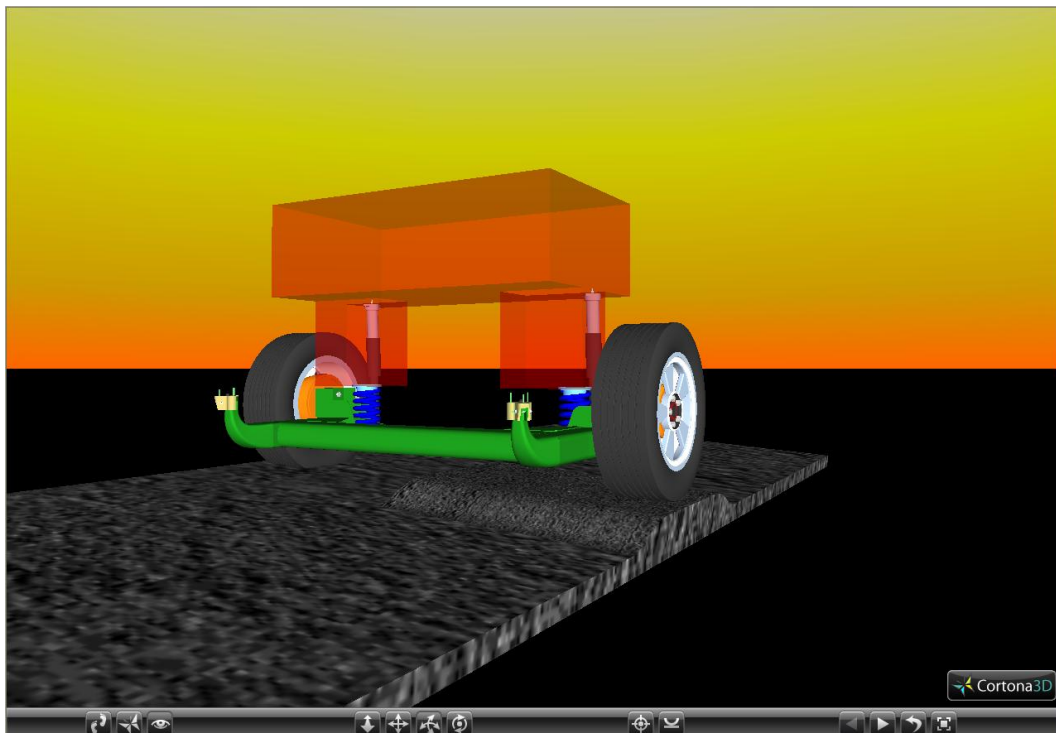


Figura 5.11. Conjunto total en medio badén

5.3.2 MOVIMIENTO DE LA SUSPENSIÓN

Para dar movimiento a cada una de las partes de la suspensión es necesario un sensor de tiempo (*TimeSensor*) que señala el momento en el que se realiza cada paso y un *Interpolator* que establece los movimientos (traslaciones y giros) que debe efectuar la pieza o conjunto de piezas.

La relación entre los movimientos y rotaciones definidos en los diferentes interpoladores con cada una de las piezas a las que afecta, se consigue mediante el comando “*ROUTE*”.

El objetivo de la realización del movimiento de la suspensión es representar, de la forma más realista y fidedigna posible, el comportamiento de la suspensión cuando se encuentra un badén completo o medio badén en su camino. Para ello, se ha realizado el movimiento del giro de las ruedas que lo realizan de forma constante, al mismo tiempo que el conjunto de la suspensión avanza hasta encontrar el badén. En el caso del badén completo ambas ruedas se elevan a la vez que resortes y amortiguadores se comprimen. Una vez superado el badén las ruedas descienden de nuevo produciéndose la extensión de amortiguadores y resortes. En el caso de medio badén la elevación sólo se produce en una rueda, la que supera el badén. La compresión/extensión de resortes y amortiguadores se produce igual que en el anterior caso, con la diferencia de que será de mayor medida en la rueda que supera el badén.

Los comandos que se exponen a continuación muestran el movimiento que realiza la rueda izquierda de la suspensión en el caso del badén completo:


```
DEF Tiempo TimeSensor {  
    cycleInterval 3  
    loop TRUE  
    startTime 0  
    stopTime -1}  
DEF ROTARUEDAIZQ OrientationInterpolator {  
    key [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]  
    keyValue [ 1 0 0 0, 1 0 0 1.5708, 1 0 0 3.1416, 1 0 0 4.7124, 1 0 0 6.2832]  
}  
ROUTE Tiempo.fraction_changed TO ROTARUEDAIZQ.set_fraction  
ROUTE ROTARUEDAIZQ.value_changed TO RUEDAIZQ.rotation
```

De las figuras 5.12 a la 5.13 se muestra una secuencia de imágenes en las que se puede ver el movimiento que realiza la suspensión en los dos casos de badén anteriormente mencionados.

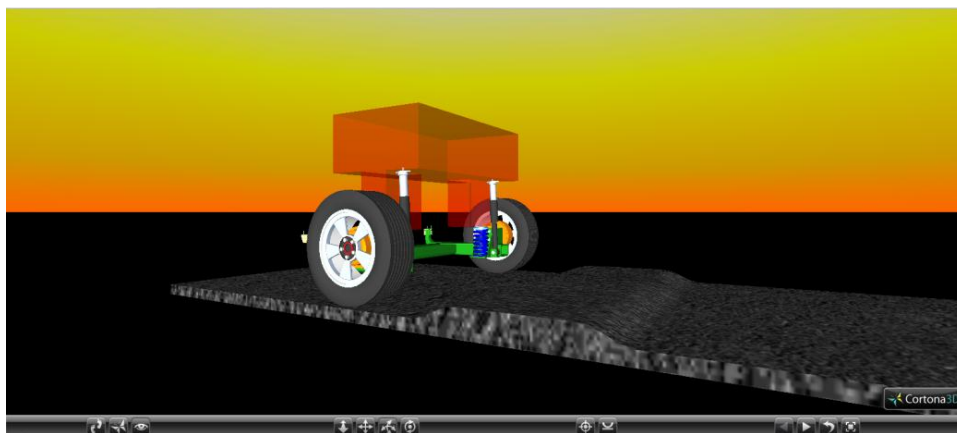
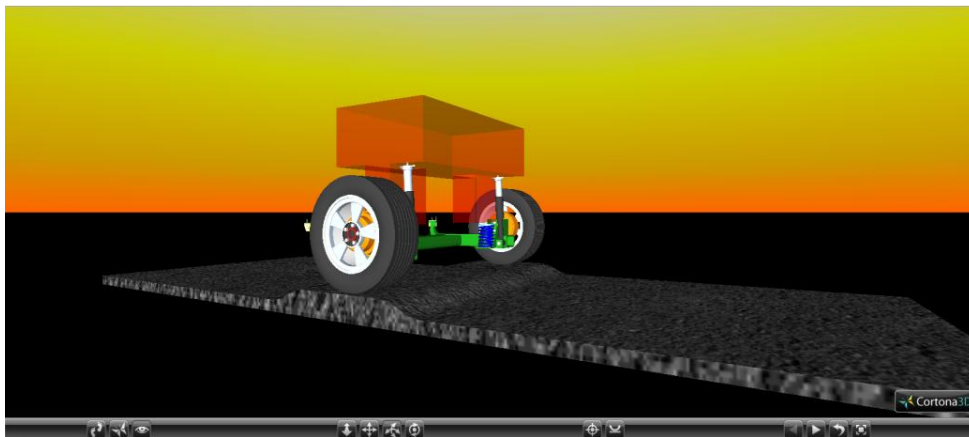
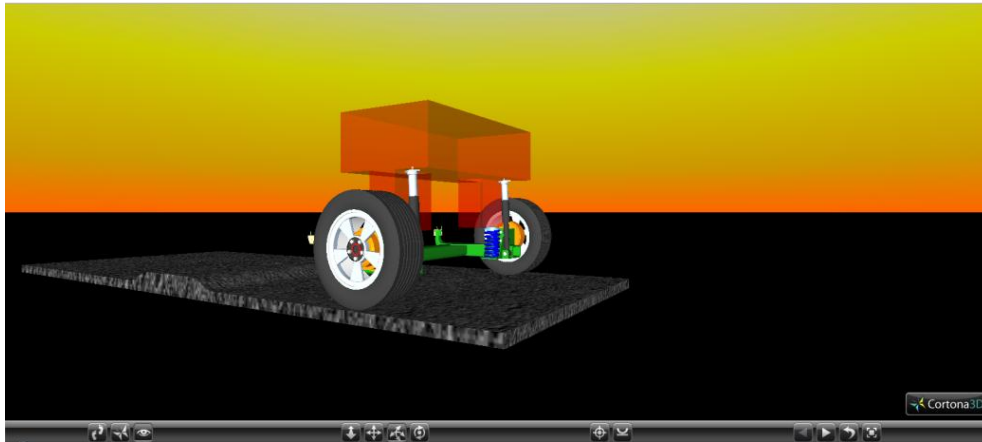


Figura 5.12. Secuencia de imágenes con badén completo

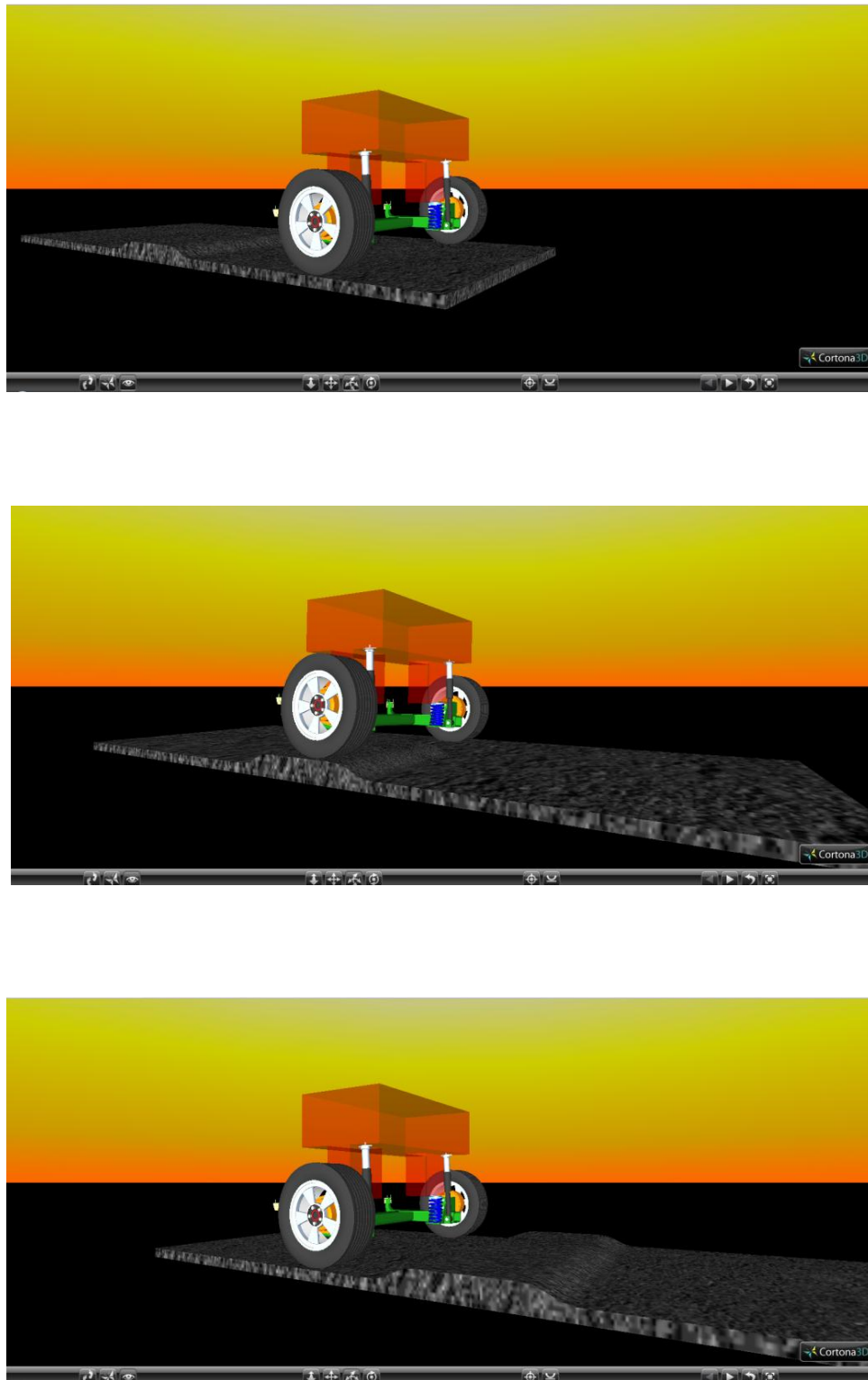


Figura 5.13. Secuencia de imágenes con medio badén

5.3.3 INTRODUCCIÓN DE TEXTOS IDENTIFICATIVOS

Con el fin de facilitar el entendimiento y comprensión por parte de los alumnos de cada una de las diferentes partes o conjuntos que componen la suspensión, se ha recurrido al nodo *Text* con el cual se introducen los textos con el nombre de los diferentes conjuntos.

El comando *Touchsensor* permite que el nombre del conjunto salga en pantalla. En la figura 5.14 se puede ver la identificación de un resorte. La siguiente secuencia de comandos muestra un ejemplo de texto en entorno virtual para el resorte:

```
Group {  
  children [  
    DEF RESORTEDCHA Transform {  
      translation -1.36 0 -0.16  
      rotation 0 0 0 0  
      children [  
        Inline { url "Resorte_tapa.wrl" }      ]}  
    DEF BOTONRESORTEDCHA TouchSensor { }  
    DEF TextoRESORTEDCHA Transform {  
      translation 0 0 1  
      rotation 1 0 0 1.57  
      scale 0 0 0  
      children [  
        Billboard { axisOfRotation 0 1 0  
        children Shape{ geometry Text {string ["RESORTE"]} } } ] }  
  ]  
}
```

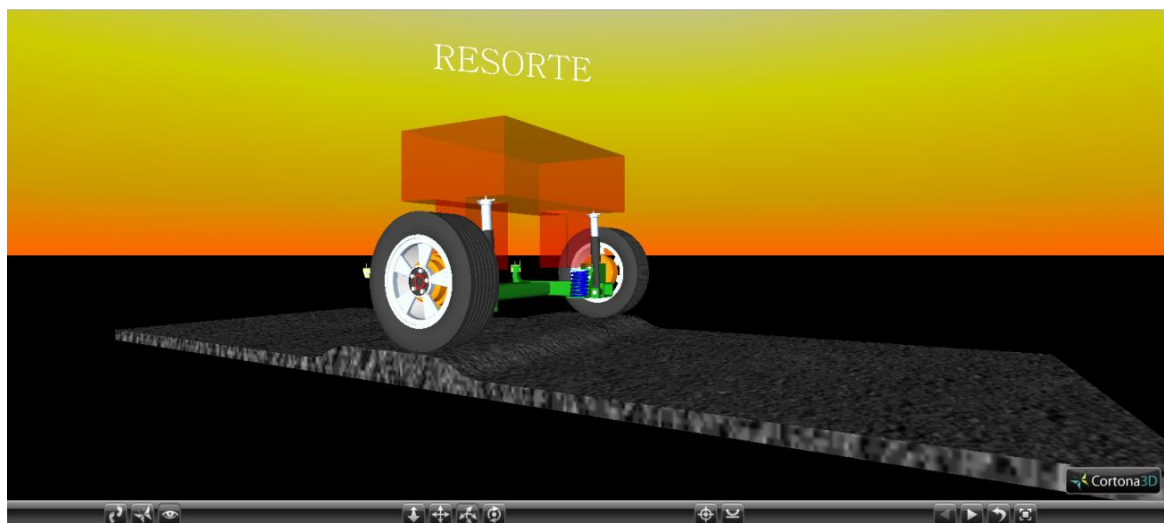


Figura 5.14. Texto en mundo virtual.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

6.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se han obtenido tras la realización del presente proyecto son las siguientes:

- El diseño de la suspensión longitudinal se ha realizado con el programa Solid Edge V19. Las razones por las que se ha elegido este programa han sido: su versatilidad y sencillez a la hora de trabajar diseños 3D y 2D, por su facilidad de interrelacionarse con otros programas CAD y la posibilidad de generar imágenes con las que recrear mundos virtuales.
- La ventaja que proporciona la sencillez del entorno VRML para la introducción de piezas modeladas en 3D en el mundo virtual, ya que no son necesarias demasiadas herramientas para la creación de una simulación virtual. Únicamente se necesitan un programa de diseño 3D (Solid Edge), un editor de texto (Word, WordPad, etc.) y un visualizador o navegador de Internet, el cual permite visualización de lo que se simula en el entorno VRML, por lo que su uso puede ser universal.
- Programar en VRML es relativamente sencillo, con la consiguiente ventaja para la enseñanza y el estudio de cualquier materia a través de esta herramienta, ya que no son necesarios unos estudios previos o una excesiva especialización en el mundo de la programación.
- La Realidad Virtual es una tecnología especialmente adecuada para la enseñanza, debido a su facilidad para captar la atención de los estudiantes mediante su inmersión en mundos virtuales y permitiendo una gran interactividad con los sistemas virtuales.
- La simulación por ordenador en un entorno virtual facilita la comprensión acerca del funcionamiento de la suspensión longitudinal,

puesto que permite observar el lugar que ocupa cada una de las pizas que lo forman, sirviendo de gran ayuda a la enseñanza.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

En la misma línea que este proyecto, a continuación se muestran posibles líneas de trabajo que se podrían elaborar tras la realización del presente proyecto:

- Realizar la simulación para una irregularidad diferente, como un badén o resaltos con diferentes geometrías.
- Hacer simulaciones para ver el comportamiento de la suspensión bajo la acción de aceleraciones y/o frenadas provocadas por el conductor.
- Comprobar el comportamiento de la suspensión en el paso por curva en el que se puede elegir entre distintos radios y velocidades de paso por la misma.
- Simular la suspensión completa de un vehículo, incluyendo a la delantera, para estudiar su comportamiento en conjunto.
- Realizar simulaciones similares para otros sistemas mecánicos, como el sistema de frenos, los embragues, etc. Esto puede servir tanto a profesores, complementando sus explicaciones, como a los alumnos, mejorando la comprensión del funcionamiento de cualquier mecanismo.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miguel Ángel Pérez Belló, “Tecnología de la suspensión, dirección y ruedas. Circuitos hidráulicos y neumáticos”. Editorial CIE DOSSAT. Año 2000.
- [2] A.Kevin García Martínez. “Simulación virtual de una suspensión multibrazo en entorno VRML”. Proyecto fin de carrera. Área de ingeniería mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [3] Daniel Mesa Fernández. “Simulación virtual de una suspensión McPherson en entorno VRML”. Proyecto fin de carrera. Área de ingeniería mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [4] Jorge Hernández Valencia. Fundación Universidad de Atacama ETP. <http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/MODULOS%20%20TERCERO/SI%20STEMAS%20DE%20DIRECCI%C3%93N%20Y%20SUSPENSI%C3%93N/Gu%C3%ADa%20N%C2%BA%201.%20Historia.pdf>. Última consulta mayo de 2011.
- [5] Miguel Ángel Pérez Bello. “Tecnología de la suspensión, dirección y ruedas”. Circuitos hidráulicos y neumáticos. CIE DOSSAT 2000.
- [6] <http://es.scribd.com/doc/7044172/La-SuspensiOn-en-El-AutomOvil>. Última consulta mayo de 2011.
- [7] <http://www.km77.com/tecnic/bastidor/clasificacion-suspension/t02.asp>. Última consulta mayo de 2011.
- [8] <http://www.mecanicavirtual.org/suspension3.htm>. Última consulta mayo de 2011.
- [9] Diego Coronel Benavente. “Montaje y estudio de un amortiguador magnetorreológico en la suspensión de un vehículo automóvil”. Proyecto fin de carrera. Área de ingeniería mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. 2010.
- [10] Álvaro Tamayo Peláez. “Diseño virtual de una caja de cambios de un vehículo automóvil.” Proyecto fin de carrera. Área de ingeniería mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2008.
- [11] Díaz Otero. Modelo 3D con Solid Edge. Imprenta Gonmar. 2004.

[12] Edgar Rocancio. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Colombia. 2004.

<http://tutorialessolid.awardspace.com/Tutoriales/Intro/intro.html>. Última consulta mayo de 2011

[13] <http://www.innovatecno.com/IntroduccionRV.php>. Última consulta mayo de 2011.

[14] http://www.diegolevis.com.ar/secciones/Articulos/Que_es_RV.pdf. Última consulta mayo de 2011.

[15] <http://www.monografias.com/trabajos11/realitual/realitual.shtml>. Última consulta mayo de 2011.

[16] <http://telematica.cicese.mx/computo/super/cicese2000/realvirtual/Part4.html>. Última consulta mayo de 2011.

[17] Área de Ingeniería Mecánica. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID José Luis García Vega. Influencia de las NTIC en la enseñanza. 2001.

[18] <http://www.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/cuad6-7/evea.htm>. Última consulta mayo de 2011.

[19] http://www.telecentros.info/pdfs/05_06_05_tec_edu.pdf

[20] <http://auartar.blogspot.com/>. Última consulta mayo de 2011.

[21] Andrea Suárez, CMSI. La realidad virtual en la educación. Mayo 2006.
<http://cmsi.colnodo.apc.org/documentos.shtml?x=2036>. Última consulta mayo de 2011.

[22] http://www.hrl.uoit.ca/~miguelga/Realidad_virtual_educacion_Iridia.pdf. Última consulta mayo de 2011.

[23] <http://www.terra.es/personal/trv00001/futurorv.htm>. Última consulta mayo de 2011.

- [24] <http://www.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/num8/hilera-oton.html>.
Última consulta mayo de 2011.
- [25] <http://wwdi.ujaen.es/~rsegura/igai/vrml/documentos/tema1.htm3> Última
consulta mayo de 2011.
- [26] http://www.dtic.upf.edu/~npares/docencia/vrml/tutorial_e.htm. Última
consulta mayo de 2011.
- [27] Kris Jamsa. VRML: biblioteca del programador. McGraw Hill. 1998.